

**ANALISIS KEBOCORAN RADIASI PADA PHYWE X-RAY UNIT
DENGAN SURVEIMETER**



SKRIPSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Menyelesaikan Studi S1
Jurusan Fisika pada Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Alauddin Makassar*

Oleh :

ANUGRAH FIRMANSYAH

NIM. 60400108006

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) ALAUDDIN
MAKASSAR
2012**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan penuh kesadaran, penyusun yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi ini benar adalah hasil karya penyusun sendiri. Jika di kemudian hari terbukti bahwa ia merupakan duplikat tiruan, plagiat atau dibuat oleh orang lain, sebagian atau seluruhnya, maka skripsi dan gelar yang diperoleh karenanya batal demi hukum.

Makassar, 28 Desember 2012

Penyusun

ANUGRAH FIRMANSYAH
NIM. 60400108006

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi yang berjudul “Analisis Kebocoran Radiasi Pada *Phywe x-Ray Unit* Dengan Surveimeter” yang disusun oleh Anugrah Firmansyah, NIM : 60400108006 mahasiswa jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin, telah diuji dan dipertahankan dalam sidang *munaqasyah* yang diselenggarakan pada hari, Rabu 12 Desember 2012 M, bertepatan 28 Muharram 1434 H. Dinyatakan telah dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana dalam ilmu Sains dan Teknologi, Jurusan Fisika (dengan beberapa perbaikan).

Makassar, 14 Desember 2012 M
30 Muharram 1434 H

Ketua : Dr. Muhammad Khalifah Mustami, M.Pd (.....)

Sekretaris : Wasilah., S.T., M.T (.....)

Penguji I : Drs. Arsyad Sumah (.....)

Penguji II : Iswadi, S.Pd., M.Si (.....)

Penguji III : Hasyim Haddade, S.Ag., M.Ag (.....)

Pembimbing I : Dr. Sri Suryani, DEA (.....)

Pembimbing II : Rahmaniah., S.Si., M.Si (.....)

Diketahui
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Alauddin



Muhammad Khalifah Mustami, M.Pd
NIM 60400108006

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Dzat yang menciptakan dan menguasai alam semesta. Atas berkah dan rahmat Allah Yang Maha Kuasa, yang telah memberikann petunjuk dan ilmu pengetahuan pada mahluk-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai tugas akhir di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin. Shalawat dan salam juga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sebagai penunjuk jalan yang *haq*. Demikian pula para keluarga, sahabat dan pengikutnya.

Dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi dalam menyelesaikan tulisan ini. Untuk itu penyusun dengan penuh rasa kebahagiaan dan ketulusan hati menyampaikan terima kasih kepada :

1. ***Fatimah Abdul Hafid*** dan ***Nurdin Kumpe*** selaku orang tua penulis yang selalu memberikan dorongan, masukan dan do'a yang tak terhenti untuk penulis.
1. Bapak ***Prof. Dr. H. A. Qadir Gassing, HT., MS.***, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar.
2. Bapak ***Dr. Muhammad Khalifah Mustami, M.Pd.***, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin Makassar
3. Ibu ***Rahmaniah, S.Si, M.Si*** Selaku Ketua Jurusan Fisika sekaligus Pembimbing II yang selalu menuntun penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu ***Dr. Sri Suryani, DEA*** selaku pembimbing I yang selalu menuntun penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Bapak *Drs. Arsyad Suma*, Bapak *Iswadi, S.Pd., M.Si.*, dan Bapak *Hasyim Haddade S.Ag., M.Ag.*, selaku dosen penguji penulis, untuk waktu yang telah diluangkan, serta untuk semua bimbingan dan arahnya.
6. Bapak *Muh. Said L., S.Si., M.Pd.* selaku kepala Laboratorium Fisika.
7. Dosen-dosen dan Staf Jurusan Fisika Fak. Sains dan Teknologi.
8. Sodara kandungku *Alamsyah* yang memberikan semangat dalam penulisan skripsi ini.
9. Kanda *Sofyan, S.ag., M.Ag* yang memberikan masukannya.
10. Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar yang menuntun dan membantu penelitian studi ini, terkhusus kepada ibu *Yuyun* yang mendampingi penulis dalam pengambilan data.
11. Angkatan 08 Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin *Harisman, Muh. Yunus, Muh. Irsyad, Wahyudi, Andi Lutfi Abedillah, Chairul Taufik Hidayat, Abd Salam, Fauzi Al-Faruq, Ali, Lisman, Arham, Hasan Bala, Rahman Hidayat, Andi Armayani, Satriani, Rafatul Farhatain, Hermisari, Nur Indah Sari*, dan *Sitti Nuruljanna* yang selalu memberikan motifasinya.
12. Kanda *Edi Kurniawan, Abdul Muhtar, Askar, Ahmad Yani* dan *Nurmala Darwis* yang memberikan motifasi dan masukan kepada penulis.
13. Junior-junior (2009-2012) yang juga memberikan dukungannya.
14. *Litakimin* dan *Adikimin* (Bio 08) dan *Imam Iksan* (Mat 08) yang juga memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
15. *Isramiryani* yang selalu memberikan semangat dan dorongan pada penulis.
16. Anak-anak pondok Jabulani tempat sebagian besar penyelesaian skripsi ini.
17. Keluarga besar **BEM-F Sains dan Teknologi** serta **HMJ-Fisika**.

Penyusun sangat menyadari bahwa tulisan ini tentu jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari seluruh kalangan yang membacanya demi kesempurnaan tulisan ini dan demi perkembangan ilmu pengetahuan ke depannya.

Demikian skripsi ini disusun, semoga dapat bermanfaat khususnya bagi diri penulis pribadi, mahasiswa dan umumnya pada masyarakat, semoga Allah SWT meridhoinya, Amin.

Gowa, 3 Desember 2012

Penulis

Anugrah Firmansyah
NIM. 60400108006



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN SKRIPSI.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Ruang Lingkup.....	4
D. Tujuan Kegiatan.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Radiasi	6
1. Sinar Alfa	7
2. Sinar Beta	8
3. Sinar Gamma	9
4. Neutron	10

5. X-ray	10
6. Phywe x-ray unit	18
B. Sumber-sumber Radiasi	20
1. Radiasi Alam	20
2. Radiasi Buatan	22
C. Besaran dan Satuan Dosis Radiasi	24
D. Batas Dosis Radiasi	26
E. Efek Biologi Dari Radiasi Pengion	31
F. Mekanisme Pendeteksian Radiasi	33
G. Alat Ukur Radiasi	37
H. Kalibrasi Alat Ukur	43
I. Sistem Pembatasa Dosis	43
J. Syarat Peralatan Radiasi	44
E. Proteksi Terhadap Radiasi	44
1. Pengaturan Waktu	44
2. Pengaturan Jarak	45
3. Penggunaan Perisai Radiasi	47
BAB III METODOLOGI	49
A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan	49
B. Instrumentasi	49
C. Prosedur Penelitian	49
D. Diagram Alir	51

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	52
A. Hasil	52
B. Pembahasan.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
A. Kesimpulan	61
B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN-LAMPIRAN	64
Lampiran I.....	64
Lampiran II	68
BIODATA PENULIS	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Dosis radiasi dan efek biologinya.....	32
Tabel 3.1 Tabel Pengamatan.....	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Peluruhan sinar Alfa.....	7
Gambar 2.2. Peluruhan Beta	8
Gambar 2.3. Peluruhan Gamma.....	9
Gambar 2.4. Contoh Hasil Roentgen	11
Gambar 2.5 Panjang Gelombang Elektromagnetik.....	12
Gambar 2.6. Perpindahan Elektron.....	13
Gambar 2.7. Perpindahan Elektron.....	13
Gambar 2.8. Pemancar X-ray.....	14
Gambar 2.9. Efek Biologi radiasi.....	17
Gambar 2.10 Phywe x-ray Unit	18
Gambar 2.11 Sumber-sumber x-ray.....	19
Gambar 2.12. Perangkat Tambahan.....	19
Gambar 2.13. Sumber-sumber radiasi.....	20
Gambar 2.14. Detektor Isian Gas.....	34
Gambar 2.15 Proses terbentuknya pulsa listrik pada detektor isian gas	35
Gambar 2.16. Atom.....	36
Gambar 2.17. Atom.....	17
Gambar 2.18. Alat ukur Radiasi.....	38
Gambar 2.19. Surveimeter	39
Gambar 2.20 Konstruksi surveimeter	40
Gambar 2.21. Dosimeter Saku	40

Gambar 2. 22 Film Badge	41
Gambar 2.23. TLD	42
Gambar 3.1 Titik pengukuran kebocoran	45
Gambar 4.1 Penyebaran Radiasi dari Sumber <i>Cu</i>	58
Gambar 4.2 Penyebaran Radiasi dari Sumber <i>mo</i>	59



ABSTRAK

Nama : Anugrah Firmansyah

NIM : 60400108006

Judul : Analisis Kebocoran Radiasi Pada Phywe X-Ray Unit Dengan Surveimeter

Telah dilakukan penelitian tentang kebocoran radiasi pada phywe x-ray unit dengan surveimeter di laboratorium fisika modern Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin. Penelitian ini bertujuan untuk memeriksa kebocoran radiasi menggunakan surveimeter dengan mengukur kebocoran pada titik, jarak dan waktu yang ditentukan, serta memeriksa seluruh ruangan tempat alat tersebut. Terdeteksi adanya kebocoran radiasi dari kedua sumber x-ray dari phywe x-ray unit baik yang terbuat dari bahan *Mo* maupun *Cu* di beberapa titik dan berfluktuasi di dalam ruangan tersebut. Terukur kebocoran radiasi tertinggi sebesar 256 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 200 cm pada bahan *Mo* dan *Cu* sebesar 271 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 650 cm. Alat tersebut harus ditempatkan di ruangan khusus untuk menghindari Kebocoran radiasi dan menggunakan peralatan anti radiasi agar tidak membahayakan pengguna dan manusia yang ada di sekitarnya.

Kata Kunci : phywe x-ray unit, Radiasi, Surveimeter, waktu, jarak.



ABSTRACT

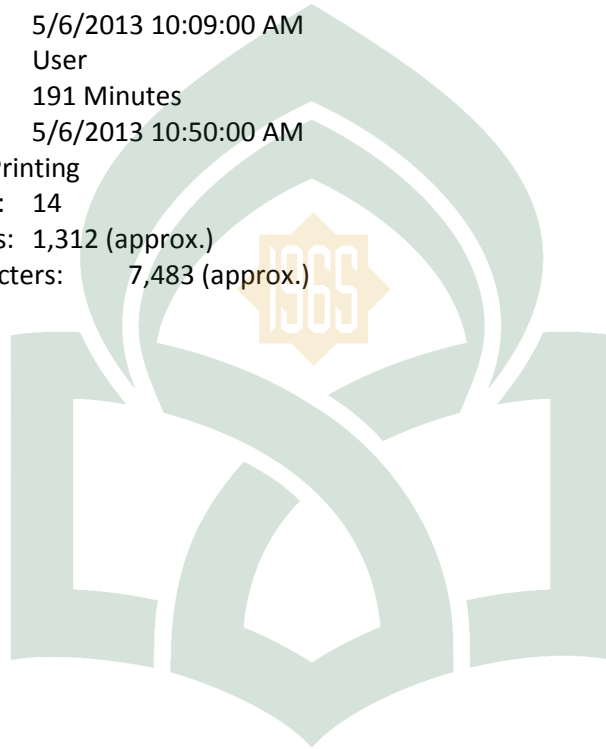
Name : Anugrah Firmansyah
NIM : 60400108006
Title : Analysis Of Radiation Leaks At Phywe X-ray Unit With
Surveimeter

Has done research about the radiation leak at phywe x-ray unit with surveimeter in the laboratory of modern physics. This research aims to examine radiation leaks using surveimeter by measuring leakage radiation at the point, distance and time, as well as check out the room where these tools. The radiation leak was detected from the two sources of x-rays the phywe x-ray unit *Mo* and *Cu* on several points and fluctuated within the room. The highest measured radiation leakage of 256 $\mu\text{Sv/h}$ at a distance of 200 cm on *Mo* and *Cu* of 271 $\mu\text{Sv/h}$ at a distance of 650 cm. The tool should be placed in designated to avoid leakage of radiation and using anti-radiation equipment so as not to endanger the user and people who are in the vicinity.

Keywords : Phywe X-Ray Unit, Radiation, Surveimeter, Time, Distance.



Filename: Pendahuluan Lngkp - Copy
Directory: C:\Users\User\Documents
Template: C:\Users\User\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title:
Subject:
Author: ANG
Keywords:
Comments:
Creation Date: 3/29/2013 11:36:00 AM
Change Number: 33
Last Saved On: 5/6/2013 10:09:00 AM
Last Saved By: User
Total Editing Time: 191 Minutes
Last Printed On: 5/6/2013 10:50:00 AM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 14
Number of Words: 1,312 (approx.)
Number of Characters: 7,483 (approx.)



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Radiasi adalah pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel atau gelombang elektromagnetik (cahaya/foton) dari sumber radiasi. Ada beberapa sumber radiasi yang ada di sekitar kehidupan manusia, contohnya adalah televisi, lampu penerangan, alat pemanas makanan (*microwave oven*), komputer, *CT-scan*, *mobile x-ray*, dan lain-lain).

Radiasi secara umum dibagi menjadi dua bagian; yang pertama adalah radiasi pengion merupakan radiasi yang dapat menyebabkan proses ionisasi (terbentuknya ion positif dan ion negatif) apabila berinteraksi dengan materi. Kedua adalah radiasi non-pengion merupakan jenis radiasi yang tidak akan menyebabkan efek ionisasi apabila berinteraksi dengan materi. Yang termasuk dalam jenis radiasi pengion adalah partikel alpha (α), partikel beta (β), sinar gamma (γ), x-ray dan neutron. Yang termasuk dalam jenis radiasi non-pengion antara lain adalah gelombang radio, gelombang mikro, sinar inframerah (yang memberikan energi dalam bentuk panas), cahaya tampak, sinar ultraviolet.

Penggunaan zat-zat radioaktif (Sinar α , β , γ dan x-ray) merupakan bagian dari teknologi nuklir yang relatif cepat dirasakan manfaatnya oleh manusia. Hal ini disebabkan zat-zat radioaktif mempunyai sifat-sifat yang spesifik, yang tidak dimiliki oleh unsur-unsur lain. Dengan memanfaatkan sifat-sifat radioaktif

tersebut, maka banyak persoalan yang rumit yang dapat disederhanakan sehingga penyelesaiannya menjadi lebih mudah.

Salah satu sifat dari radiasi adalah mampu menembus benda padat. Sifat ini banyak digunakan dalam teknik radiografi yaitu pemotretan bagian dalam suatu benda dengan menggunakan radiasi nuklir seperti x-ray, Sinar α , Sinar β , Sinar γ dan neutron. Hasil pemotretan tersebut direkam dalam film x-ray.

Manfaat dan bahaya x-ray seperti yang dijelaskan di atas dapat dianalogikan pada firman Allah dalam Q.S. Yunus Ayat 24 :

إِنَّمَا مَثَلُ الْحَيَاةِ الدُّنْيَا كَمَاءٍ أَنْزَلْنَاهُ مِنَ السَّمَاءِ فَاخْتَلَطَ بِهِ نَبَاتُ
الْأَرْضِ مِمَّا يَأْكُلُ النَّاسُ وَالْأَنْعَامُ حَتَّى إِذَا أَخَذَتِ الْأَرْضُ زُخْرُفَهَا
وَارْتَيْنَتْ وَظَنَّ أَهْلُهَا أَنَّهُمْ قَادِرُونَ عَلَيْهَا أَتَاهَا أَمْرُنَا لَيْلًا أَوْ نَهَارًا
فَجَعَلْنَاهَا حَصِيدًا كَأَن لَّمْ تَغْنَبْ بِالْأَمْسِ كَذَلِكَ نُفَصِّلُ الْآيَاتِ
لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿٢٤﴾

Terjemahnya :

Sesungguhnya perumpamaan kehidupan duniawi itu, adalah seperti air (hujan) yang Kami turunkan dari langit, lalu tumbuhlah dengan subur karena air itu tanam-tanaman bumi, di antaranya ada yang dimakan manusia dan binatang ternak. Hingga apabila bumi itu telah sempurna keindahannya, dan memakai (pula) perhiasannya, dan pemilik-pemilikinya mengira bahwa mereka pasti menguasainya, tiba-tiba datanglah kepadanya azab Kami di waktu malam atau siang, lalu Kami jadikan (tanaman tanamannya) laksana tanam-tanaman yang sudah disabit, seakan-akan belum pernah tumbuh kemarin. Demikianlah Kami

menjelaskan tanda-tanda kekuasaan (Kami) kepada orang-orang yang berpikir.¹

Ayat tersebut menjelaskan bagaimana Allah menciptakan air (hujan) yang dapat bermanfaat bagi manusia yang dapat menyuburkan tanaman, tapi Allah juga dapat mengambilnya kembali sehingga tanaman tersebut rusak oleh air tersebut. Seperti x-ray yang diciptakan oleh Allah, dapat bermanfaat bagi manusia dalam hal kesehatan, dan dapat juga merusak kesehatan manusia (radiasinya).

Di laboratorium fisika modern jurusan Fisika fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin terdapat satu unit alat x-ray yang digunakan dalam praktikum. Sampai Saat ini belum ada pemeriksaan kebocoran radiasi yang mungkin saja terjadi pada alat tersebut, alatnya juga tidak diletakkan di ruangan khusus.

Selain manfaatnya yang besar, radiasi yang ditimbulkan sumber radiasi x-ray juga memberikan efek negatif dan sangat berbahaya bagi manusia jika digunakan dalam dosis yang sangat tinggi atau dengan frekuensi paparan yang semakin besar, karena x-ray adalah salah satu sumber radiasi pengion yang sifatnya yang tidak terlihat dan juga tak dapat dirasakan saat itu.

Hasil penelitian Anies yang ditulis dalam bukunya “*Elektrikal Sensitivity*” menuliskan *handphone (mobile phone)* dapat membahayakan kesehatan tubuh manusia karena radiasi yang dikeluarkannya, walaupun radiasinya tergolong

¹Departemen Agama RI. 2007. *Al-quran dan Terjemahnya*. Penerbit Diponegoro. Jakarta.. h 211.

sangat kecil, apalagi *phywe x-ray unit* yang merupakan sumber radiasi yang tergolong sangat berbahaya meskipun dengan kekuatan (daya) yang tidak terlalu besar tapi perlu adanya penelitian untuk mencegah kemungkinan adanya kebocoran radiasi mengingat bahayanya yang sangat besar jika terkena manusia.

Oleh karena itu untuk mencegah terjadinya kebocoran radiasi yang berbahaya bagi kesehatan khususnya pengguna *phywe x-ray unit* akan dilakukan pengukuran kemungkinan kebocoran alat tersebut sehingga penggunaanya dapat merasakan keamanan dan kenyamanan dalam menggunakan *phywe x-ray unit*.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang, didapat rumusan masalah dalam penelitian ini adalah memeriksa dan menganalisis kemungkinan kebocoran pada alat *phywe x-ray unit* yang ada di laboratorium Fisika modern untuk menjamin keamanan penggunaanya dengan *surveimeter*.

C. Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan untuk mengukur kebocoran yang mungkin terjadi pada alat *phywe x-ray unit* yang ada di laboratorium Fisika Modern Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin.

D. Tujuan Kegiatan

Tujuan dari penelitian ini adalah memeriksa dan menganalisis kemungkinan kebocoran pada alat *phywe x-ray unit* yang ada di laboratorium fisika modern untuk memberikan keamanan penggunaanya dengan *surveimeter*.

E. Manfaat Penelitian

1. Mencegah kemungkinan kebocoran radiasi dari tabung *phywe x-ray unit* yang ada di laboratorium fisika modern.
2. Memberikan keamanan dan kenyamanan pengguna *phywe x-ray unit*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sejak awal 1900an, para ilmuwan telah menyadari manfaat dan bahaya radiasi ionisasi. Dengan menggunakan pengetahuan tentang bahaya radiasi yang diperoleh selama bertahun-tahun dan menggunakan metode efektif untuk membatasi atau menghilangkan bahaya tersebut, manusia sekarang dapat lebih mengontrol penggunaan energi radiasi. Ada berbagai metode perlindungan radiasi yang dapat digunakan demi keamanan pekerja bidang industri radiasi, termasuk bidang pengobatan, dan untuk sebagian besar masyarakat.

A. Radiasi

Kamus Besar Bahasa Indonesia menuliskan bahwa radiasi adalah pemancaran dan perambatan gelombang yang membawa energi melalui ruang atau antara, misalnya pemancaran dan perambatan gelombang elektromagnetik, gelombang bunyi, gelombang lenting gelombang penyinaran. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa radiasi bukan hanya radiasi nuklir, tetapi juga radiasi lain seperti gelombang radio, gelombang televisi, pancaran sinar matahari, dan lain-lain.²

Radiasi adalah proses dikeluarkannya energi radiasi dalam bentuk gelombang (atau partikel), atau dapat didefinisikan sebagai proses kombinasi dari pengeluaran dan pancaran energi radiasi. Bila radiasi melewati materi

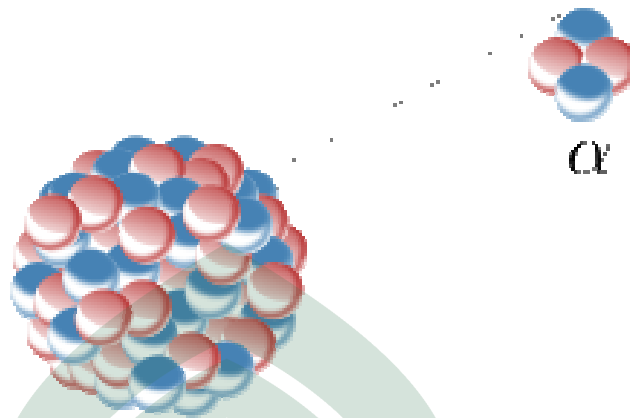
²Departemen pendidikan nasional, 2001. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Bali Pustaka Jakarta. h.187

membentuk partikel bermuatan positif dan negatif (ion), proses ini disebut radiasi ionisasi. Tidak semua radiasi dapat mengubah ion atau partikel yang dilaluinya, radiasi ini disebut sebagai radiasi nonpengion. Sinar- α , sinar- β , sinar- γ dan x-ray adalah beberapa contoh radiasi pengion karena sifatnya yang dapat merubah ion-ion atau partikel-partikel yang dilaluinya. Partikel ini memiliki kemampuan untuk menimbulkan kerusakan biologi pada manusia dengan cara merusak sel-sel jaringan tubuh yang terkena atau dilaluinya. Gelombang radio, sinar inframerah cahaya tampak dan sinar ultraviolet adalah beberapa contoh radiasi pengion yang tidak merubah ion-ion atau partikel-partikel yang dilaluinya sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan.³

1. Sinar Alfa (α)

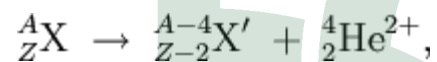
Partikel Alfa telah diselidiki dalam kurun waktu yang lama. Pada tahun 1869, Bacquerel telah menemukan gejala radioaktifitas pada bahan radioaktif alam. Curie dan Rutherford menemukan bahan pemancar radiasi alfa. Struktur nuklir pada peluruhan alfa mempresentasikan peluruhan zarah pada keadaan ini maya virtual.

³ Wiyatmo, Yusman. 2009. *Fisika Nuklir*. Pustaka Belajar. Jogjakarta.h. 124

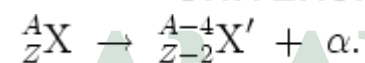


Gambar 2.1. Peluruhan sinar Alfa
(Sumber : Wikipedia.com 2012)

Peluruhan alfa adalah salah satu bentuk peluruhan radioaktif dimana sebuah inti atom berat tidak stabil melepaskan sebuah partikel alfa dan meluruh menjadi inti yang lebih ringan dengan nomor massa empat lebih kecil dan nomor atom dua lebih kecil dari semula, menurut reaksi:



dimana X dan X' menyatakan jenis inti yang berbeda. Kadang-kadang reaksi di atas ditulis juga sebagai:



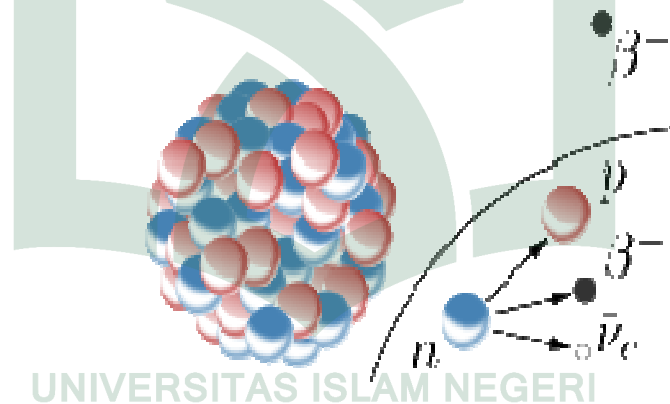
Bentuk kedua juga digunakan karena, bagi pengamat awam, bentuk pertama tampak tidak stabil secara listrik. Pada dasarnya, inti yang baru terbentuk akan segera melucuti dua elektronnya untuk menetralkan kation helium yang lapar.

Sebagian besar nuklida dengan nomor massa $A > 150$ adalah tidak stabil dan meluruh dengan pemancaran zarah alfa. Untuk nuklida-nuklida

yang lebih ringan, terjadinya peluruhan alfa sangat tidak memungkinkan. Konstanta peluruhan menurun secara eksponensial dengan penurunan energi peluruhan, untuk nomor massa $A=150$ secara praktis energi perubahannya nol. Nuklida-nuklida dengan jumlah neutron mendekati $N=82$ merupakan pengecualian, sebab dengan adanya efek kulit menyediakan tambahan energi peluruhan.⁴

2. Sinar Beta (β)

Peluruhan beta merupakan proses transformasi isobarik, dalam hal ini cacah proton berubah berkurang tanpa disertai perubahan cacah nukleon.



Gambar 2.2. Peluruhan Beta
(Sumber : Wikipedia.com 2012)

Peluruhan Beta ditemukan pertama kali pada akhir abad ke-19. Pada waktu itu ditunjukkan adanya beberapa isotop radioaktif yang memancarkan zarah bermuatan negatif. Dikarenakan adanya kesulitan teknis, pengamatan langsung terjadinya proses tersebut baru dapat

⁴ Op.Cit

dilakukan pada tahun 1945 setelah ditemukan reaktor nuklir.⁵

Pada tingkatan partikel dasar, peluruhan beta terjadi karena konversi sebuah quark bawah menjadi sebuah quark atas oleh pemancaran sebuah boson W.



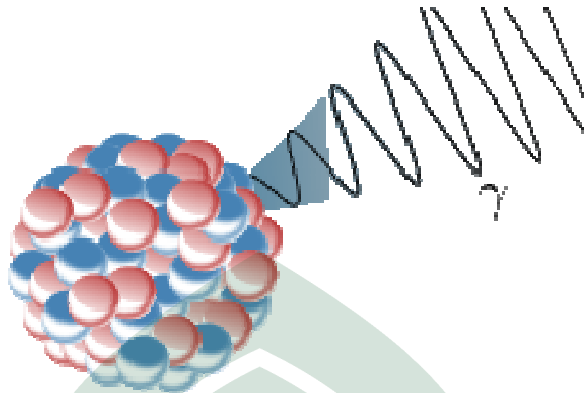
Jika proton dan neutron merupakan bagian dari inti atom, proses peluruhan men-transmutasikan satu elemen kimia ke dalam bentuk lainnya.

3. Sinar Gamma (γ)

Baik x-ray maupun sinar γ keduanya merupakan radiasi elektromagnetik yang membawa energi dalam bentuk paket-paket yang disebut foton. Oleh karena itu radiasi tersebut juga dinamai sebagai radiasi foton. Berbeda dengan partikel-α dan partikel-β yang mempunyai jangkauan relatif pasti, sehingga energi yang dibawa kedua partikel tersebut dapat terserap oleh materi dengan ukuran tertentu.⁶

⁵ Op.Cit

⁶ Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta. h 58.



Gambar 2.3. Peluruhan Gamma
(Sumber : Wikipedia.com 2012)

Sinar γ mempunyai energi yang khas dengan rentangan 0,1 MeV sampai dengan 10 MeV yang merupakan karakteristik selisih energi antara keadaan-keadaan inti. Energi-energi ini bersesuaian dengan panjang gelombang dengan rentang 10^4 fm sampai dengan 100 fm.⁷

4. Neutron

Seperti halnya radiasi elektromagnetik, neutron juga mempunyai jangkauan yang panjang. Neutron bebas bersifat tidak stabil, karena itu neutron bebas akan meluruh dengan memancarkan radiasi- β ($E_{\text{mak}} = 0,78$ MeV) dengan waktu paro, $T_{1/2} = 12,8$ Menit. Neutron diklasifikasikan berdasarkan energi kinetik yang dimilikinya, karena jenis interaksi yang terjadi pada proton bergantung pada energinya. Pada saat terbentuk, semua neutron memiliki energi kinetik yang tinggi. Neutron berenergi tinggi, dimana energinya berkisar antara 10 keV hingga 10 MeV, dinamakan neutron cepat. Sebetulnya masih ada neutron dengan energi lebih besar dari 10 MeV yang

⁷Wiyatmo, Yusman. 2009. *Fisika Nuklir*. Pustaka Belajar. Jogjakarta., h. 172

disebut neutron relativistik.⁸

Neutron merupakan partikel penyusun inti yang tidak bermuatan listrik, sehingga partikel ini tidak dapat melakukan proses ionisasi secara langsung. Jadi ionisasi yang disebabkan oleh neutron ini semuanya melalui proses ionisasi sekunder. Partikel ini dengan mudah dapat mendekati inti atom karena tidak bermuatan listrik neutron tidak mengalami gaya elektrostatik dari inti atom.⁹

5. X-ray

X-ray pertama kali ditemukan oleh fisikawan berkebangsaan jerman *Wilhelm C. Roentgen* pada tanggal 8 November 1896. Pada saat Roentgen menyalakan sumber listrik tabung untuk penelitian sinar katoda, beliau mendapat bahwa sejenis cahaya berpendar pada layar yang terbuka dari barium platino cyanide yang kebetulan berada di dekatnya. Jika sumber listrik dipadamkan, maka cahaya pendarpun hilang. Roengen segera menyadari bahwa sejenis sinar yang tidak kelihatan telah muncul dari dalam tabung sinar katoda. Sinar ini sebelumnya tidak dikenal, maka sinar inipun diberi nama x-ray. Untuk menghargai jasa beliau dalam penemuan x-ray ini maka seringkali sinar itu dinamai juga sinar Roentgen.¹⁰

⁸ Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta. h.58

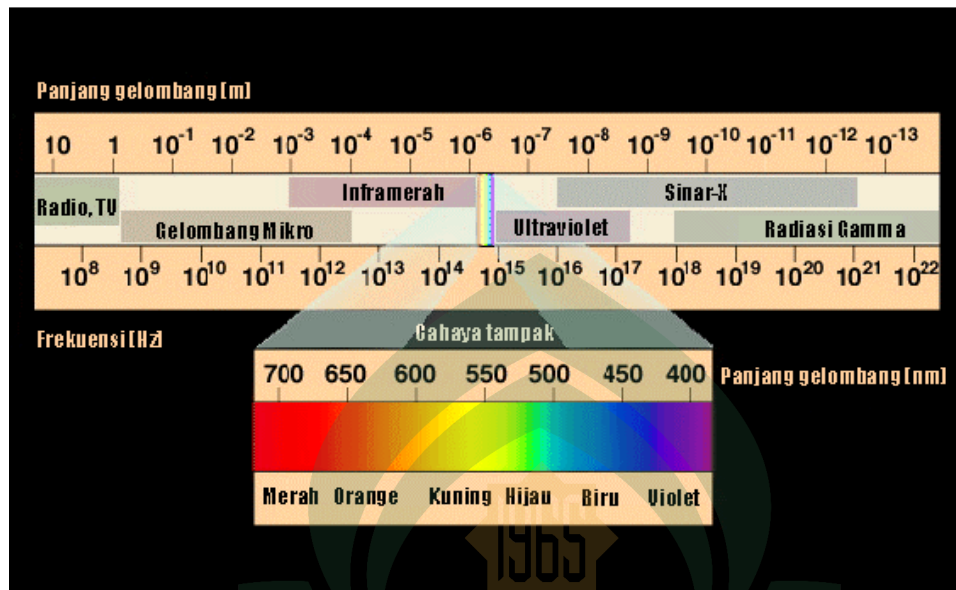
⁹ *Opcit.*

¹⁰ Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta. h.32



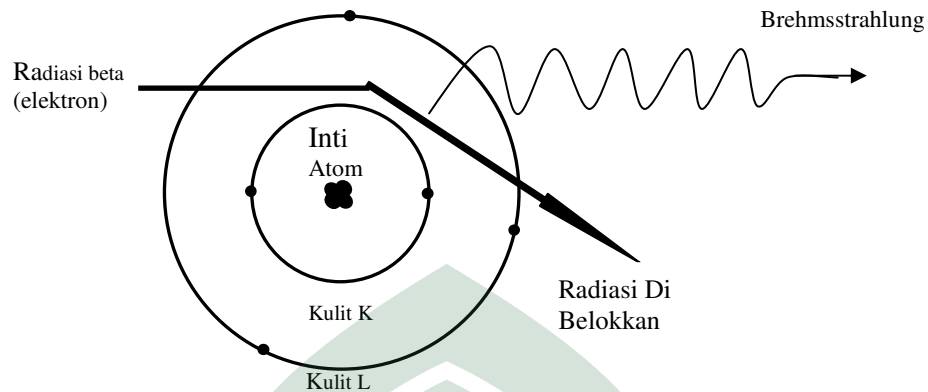
Gambar 2.4. Contoh Hasil Roentgen
(Sumber : Wikipedia.com 2012)

Gelombang elektromagnetik terdiri atas gelombang listrik dan gelombang magnet, dimulai dari gelombang radio, cahaya tampak, x-ray, hingga sinar kosmik. Pengelompokan tersebut dibedakan atas tingkat energi atau panjang gelombangnya. Satuan panjang gelombang x-ray adalah Å dan nm.



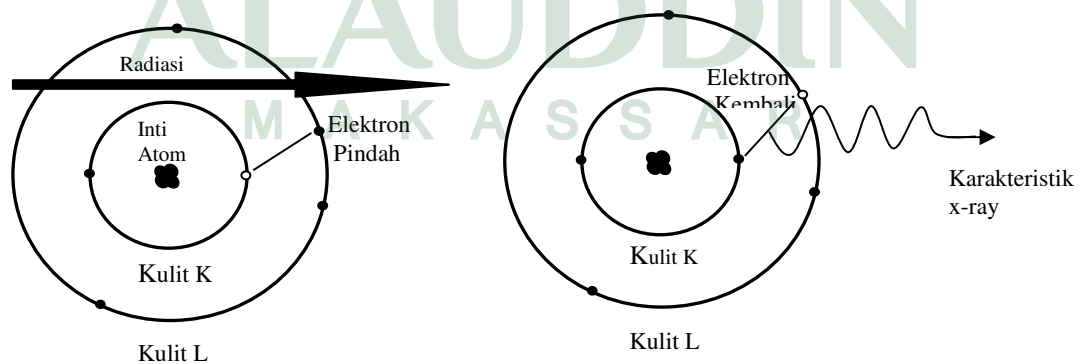
Gambar 2.5 Panjang Gelombang Elektromagnetik
(Sumber : batan.go.id)

Panjang gelombang x-ray dalam kisaran $0,5 - 2,5 \text{ \AA}$. X-ray terjadi bila elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi tiba-tiba terhenti karena menubruk suatu bahan misalnya suatu plat logam. Sebagai sumber elektron adalah filamen yang dipanaskan dan plat logam adalah anodanya. Elektron-elektron yang terjadi pada pemanasan filamen dipercepat dengan menggunakan tegangan tinggi antara filamen dan anoda. X-ray yang terjadi karena proses pengereman diatas disebut juga “Bremsstrahlung”. Spektrum x-ray yang dihasilkan proses ini adalah kontinyu.



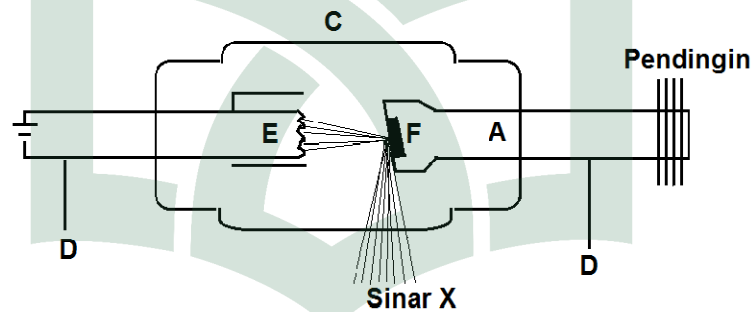
Gambar 2.6 Perpindahan Elektron
(Sumber : Wikipedia.com)

Sebagian kecil elektron-elektron yang dipercepat itu akan menubruk elektron pada kulit atom, akibatnya elektron pada kulit atom itu akan terpental sehingga tempat tersebut kosong. Kekosongan ini segera diisi oleh elektron dari kulit bagian atasnya disertai dengan pemancaran photon. Photon yang dihasilkan dengan dengan cara ini disebut x-ray karakteristik. Bila elektron yang terpental dari kulit K maka x-ray yang terjadi dari pengisian kulit L disebut $K\alpha$, dari kulit M disebut $K\beta$ dan seterusnya. Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa x-ray yang terjadi dari suatu generator x-ray akan berupa x-ray kontinyu dan x-ray karakteristik.



Gambar 2.7 Perpindahan Elektron
(Sumber : Wikipedia.com)

Panjang gelombang x-ray tergantung pada kecepatan elektron yang menubruk anoda, jadi tergantung pada beda tegangan antara katoda dan anoda yang digunakan. Banyak elektron tergantung pada arus listrik yang melalui filamen dan temperatur. Karena arus mudah dikontrol maka dalam x-ray ada dua kontrol yaitu kontrol intensitas oleh arus dan kontrol tenaga oleh tegangan. Tenaga elektron hampir seluruhnya diubah menjadi panas sedang yang menjadi x-ray hanya $\pm 1\%$ maka anoda yang berupa logam tungsten perlu dihubungkan dengan blok tembaga pendingin. Ada juga x-ray yang tak mempunyai pendingin tetapi hanya dilengkapi dengan switch.



Gambar 2.8 Pemancar X-ray
(Sumber : Wikipedia.com)

Dengan

A = Blok tembaga pendingin

B = Silinder untuk memfokus elektron

C = Tabung kaca

D = Tegangan tinggi

E = Fillamen

F = Target (tungsten)¹¹

a. Sifat-sifat x-ray

1) Daya tembus

X-ray dapat menembus bahan atau massa yang padat dengan daya tembus yang sangat besar seperti tulang dan gigi. Makin tinggi tegangan tabung (besarnya KV) yang digunakan, makin besar daya tembusnya. Makin rendah berat atom atau kepadatan suatu benda, makin besar daya tembusnya.

2) Pertebaran (Hamburan)

Apabila berkas x-ray melalui suatu bahan atau suatu zat, maka berkas sinar tersebut akan bertebaran keseluruh arah, menimbulkan radiasi sekunder (radiasi hambur) pada bahan atau zat yang dilalui. Hal ini akan menyebabkan terjadinya gambar radiografi dan pada film akan tampak pengaburan kelabu secara menyeluruh. Untuk mengurangi akibat radiasi hambur ini maka diantara subjek dengan diletakkan timah hitam (grid) yang tipis.

3) Penyerapan

X-ray dalam radiografi diserap oleh bahan atau zat sesuai dengan massa atom atau kepadatan bahan atau zat tersebut. Makin tinggi kepadatannya atau massa atomnya makin besar penyerapannya.

¹¹ M. Syukur, 1974, *Pemanfaatan Radiasi dan Pengamanannya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.

4) Efek fotografi

X-ray dapat menghitamkan emulsi film (emulsi perak bromida) setelah diproses secara kimiawi (dibangkitkan) di kamar gelap.

5) Fluoresensi

X-ray menyebabkan bahan-bahan tertentu seperti kalsium tungsten atau zink sulfide memancarkan cahaya (luminisensi).

Luminisensi ada 2 jenis yaitu :

- a) Fluoresensi, yaitu memancarkan cahaya sewaktu ada radiasi x-ray saja.
- b) Fosforisensi, pemancaran cahaya akan berlangsung beberapa saat walaupun radiasi x-ray sudah dimatikan (*after – glow*).

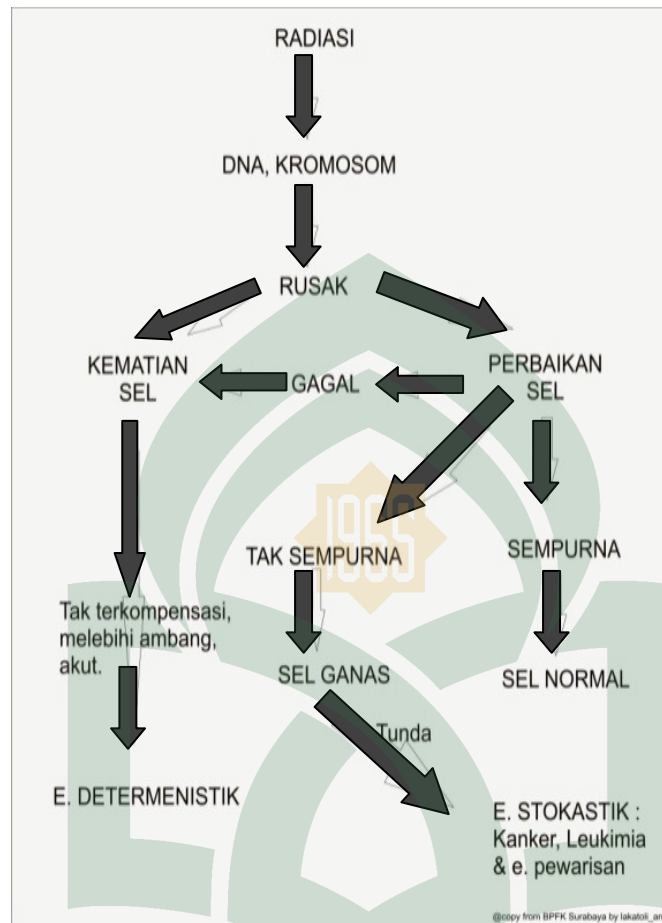
6) Ionisasi

Efek primer dari x-ray apabila mengenai suatu bahan atau zat dapat menimbulkan ionisasi partikel-partikel atau zat tersebut.

7) Efek biologi

Sinar-x akan menimbulkan perubahan-perubahan biologi pada jaringan. Efek biologi ini yang dipergunakan dalam pengobatan radioterapi.¹²

¹² Gabriel, J.F. 1996. *Fisika Kedokteran*. Penerbit buku kedokteran EGC. Jakarta.



Gambar 2.9 Efek Biologi radiasi

(sumber : batan.go.id)

b. Prinsip Kerja Tabung x-ray

- a. Arus listrik (mA) akan memanaskan filamen (katoda) sehingga akan terjadi awan elektron disekitar filamen (proses emisi termionik).
- b. Tegangan (kV) diantara katoda (negative) dan anoda (positif) akan menyebabkan elektron-elektron bergerak ke arah anoda.
- c. Fokus (focusing cup) berfungsi untuk mengarahkan pergerakan electron-elektron (berkas elektron) menuju target.

- d. Ketika berkas elektron menubruk target akan terjadi proses eksitasi pada atom-atom target, sehingga akan dipancarkan x-ray karakteristik, dan pembelokan/pemantulan elektron sehingga akan dipancarkan x-ray bremstrahlung.
- e. Berkas x-ray yang dihasilkan, yaitu x-ray karakteristik bremstrahlung, dipancarkan keluar tabung melalui window.¹³

6. Phywe x-ray unit

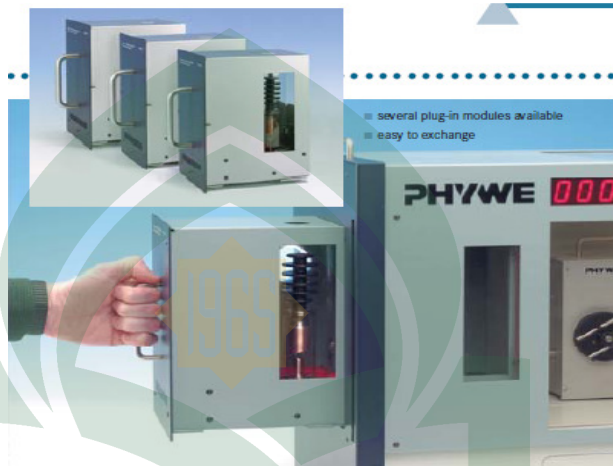
Phywe x-ray unit merupakan salah satu alat yang digunakan dalam praktikum fisika untuk mempelajari karakteristik x-ray. Perbedaan bahan anoda (*Cu dan Mo*) x-ray membuat karakteristiknya juga berbeda. Dalam ilmu fisika, alat ini juga digunakan untuk mempelajari dasar pembentukan x-ray, karakteristik, pemanfaatan, panjang gelombang dan radiasi yang dihasilkannya.



Gambar : 2.10 Phywe x-ray Unit
(Sumber : PHYWE Systeme GmbH & Co)

¹³ Wiryosimin, S. 1995. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*, Penerbit ITB. Bandung. h. 57

Alat ini juga sangat mudah digunakan, jenis anoda sumber x-ray juga dapat diganti dengan beberapa detik saja.



Gambar 2.11 Sumber-sumber x-ray
(Sumber : PHYWE Systeme GmbH & Co)

Bukan hanya itu, *phywe x-ray unit* juga dapat dihubungkan dengan komputer yang sudah diinstal software alat ini sehingga mempermudah pengaturan dan mempelajari karakteristiknya.

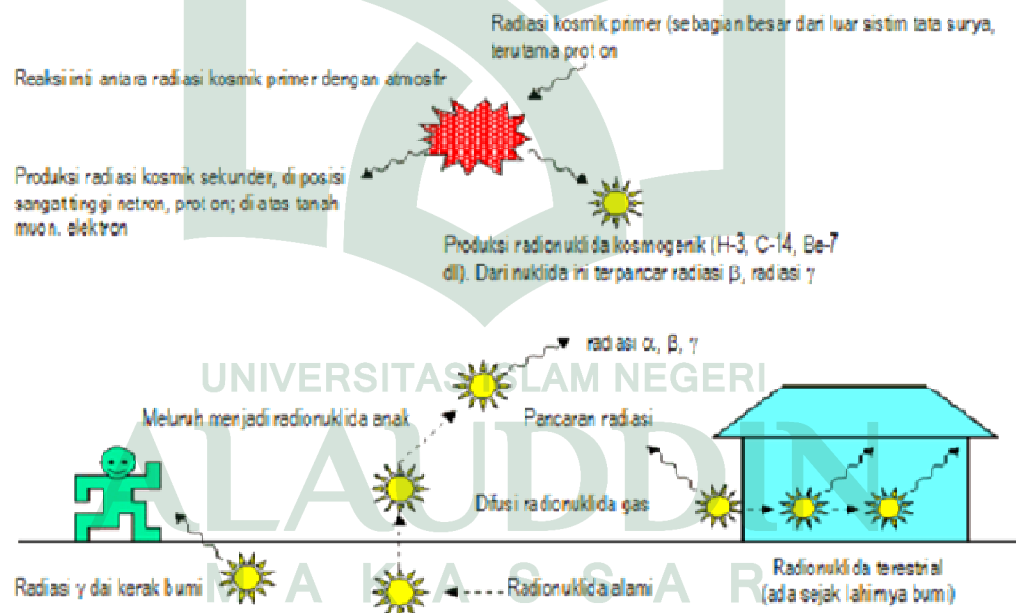


Gambar 2.12 Perangkat Tambahan
(Sumber : PHYWE Systeme GmbH & Co)

Tegangan yang digunakan untuk pemakaian alat ini dapat disesuaikan, mulai dari 0-35 kV. Arus yang digunakan juga dapat disesuaikan yaitu dari 0-1 mA.¹⁴

B. Sumber-sumber Radiasi

Ditinjau dari proses terbentuknya, unsur-unsur radioaktif atau sumber-sumber radiasi lainnya yang ada di lingkungan ini dapat dikelompokkan kedalam dua golongan besar, yaitu sumber-sumber radiasi alam dan sumber-sumber radiasi buatan.



Gambar 2.13 Sumber-sumber radiasi

(Sumber : batan.go.id)

Dikatakan sebagai radiasi alam karena sumber-sumber tersebut sudah ada sejak alam ini lahir. Disamping sumber radiasi alam, saat ini juga dikenal

¹⁴ Robert.Bosch.Breite. 2007.PHYWE Systeme GmbH & Co. KG · D-37079 Göttingen. Germany.

sumber-sumber radiasi buatan, yaitu radiasi yang proses pembentukannya melibatkan intervensi manusia, baik sumber radiasi tersebut sengaja dibuat untuk keperluan tertentu atau merupakan hasil sampingan dari pemanfaatan teknologi nuklir oleh umat manusia untuk keperluan-keperluannya.¹⁵

1. Radiasi Alam

Bahan-bahan radioaktif dapat berperan sebagai sumber radiasi alam. Jadi radiasi pada prinsipnya sudah ada sejak alam ini terbentuk. Secara garis besar, radiasi alam atau seringkali disebut sebagai radiasi latar dapat dikelompokkan menjadi dua bergantung pada asal sumbernya, yaitu radiasi teresterial (berasal dari permukaan bumi) dan radiasi ekstrateresterial (berasal dari luar angkasa).

a. Radiasi kosmis

Sinar kosmis yang berupa partikel akan bereaksi dengan atmosfer bumi menghasilkan tritium, berilium (be) dan carbon (c) yang radioaktif. Tak seorangpun luput dari guyuran radiasi ini meskipun jumlahnya berbeda-beda berdasarkan lokasi dan ketinggian. Karena medan magnet bumi dipengaruhi radiasi ini, maka orang di kutub menerima lebih banyak daripada yang ada di katulistiwa. Selain itu orang yang berada di lokasi yang lebih tinggi akan menerima radiasi lebih besar karena semakin sedikit lapisan udara yang bertindak sebagai penahan radiasi. Jadi, orang

¹⁵ Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta. h.58

yang berada di puncak gunung akan menerima radiasi yang lebih banyak daripada yang di permukaan laut. Orang yang bepergian dengan pesawat terbang juga menerima radiasi lebih banyak.

b. Radiasi Terrestrial

Bahan radioaktif utama yang ada dalam kerak bumi adalah kalium, rubidium unsur-unsur turunan dari uranium dan turunan thorium. Besarnya radiasi dari kerak bumi ini berbeda-beda karena konsentrasi unsur-unsur di tiap lokasi berbeda, tetapi biasanya tidak terlalu berbeda jauh. Penelitian di Prancis, Jerman, Italia, Jepang dan Amerika Serikat menunjukka bahwa kira-kira 95 % populasi tinggal di daerah dengan tingkat radiasi rata-rata dari bumi adalah 0,3 – 0,6 mSv/Tahun.

c. Radiasi Internal

Manusia juga menerima pancaran energi radiasi dari dalam tubuhnya sendiri. Unsur-unsur radioaktif ini kebanyakan berasal dari sumber kerak bumi yang masuk melalui udara yang dihirup, air yang diminum ataupun makanan yang dimakan. Unsur yang meradiasi manusia dari dalam ini kebanyakan berupa tritium, carbon, kalium, timah hitam dan polonium. Radiasi internal ini umumnya merupakan 11 % total radiasi yang diterima seseorang.¹⁶

¹⁶ Anies.2005. *Electrical Sensitivity*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta. H.17.

2. Radiasi Buatan

Selain unsur-unsur radiasi alam, kita juga mengenal adanya unsur-unsur radioaktif buatan yang tersebar di lingkungan hidup. Dilihat dari proses terbentuknya, unsur-unsur radioaktif buatan itu dapat terbentuk melalui proses fisi, proses aktivasi maupun transmutasi inti lainnya. Unsur-unsur radio aktif buatan yang terlepas ke lingkungan dapat berperan sebagai sumber radioaktif buatan. Selain dari unsur-unsur radio aktif, radiasi buatan dapat pula berasal dari sumber-sumber lain seperti pesawat x-ray dan akselerator. Beberapa radiasi buatan adalah unsur-unsur yang dapat merusak partikel atau merubah partikel yang dilaluinya sehingga berbahaya bagi manusia jika terkena partikel tersebut. Radiasi buatan yang berbahaya diantaranya adalah x-ray, Sinar- α , sinar- β , dan sinar- γ .¹⁷

a. Radiasi Tindakan Medis

Radiasi dari tindakan medis merupakan radiasi yang berasal dari sumber buatan manusia, jadi sesungguhnya bukan merupakan radiasi dari alam. Dalam bidang kedokteran radiasi digunakan sebagai alat pemeriksaan (diagnosis) maupun penyembuhan (terapi). Pesawat x-ray Roentgen merupakan alat diagnosis paling banyak dikenal dan dosis radiasi yang diterima dari radiasi roentgen ini merupakan dosis tunggal (sekali) terbesar yang diterima dari radiasi buatan manusia. Dalam sekali

¹⁷ Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta. h.93

penyinaran sinar x-ray ke dada, seseorang dapat menerima dosisi radiasi total sejumlah 35-90 hari jumlah radiasi yang diterima dari alam. Penyinaran x-ray untuk pemeriksaan gigi memberikan dosis total kira-kira 3 hari jumlah radiasi yang diterima dari alam. Penyinaran radiasi untuk penyembuhan kanker nilai dosisnya ribuan kali dari yang diterima dari alam. Meskipun dosis radiasi yang diterima dari kedokteran ini cukup tinggi, orang masih mau menerimanya karena nilai manfaatnya jauh lebih besar daripada resikonya.

b. Radiasi Dari Reaktor Nuklir

Banyak orang beranggapan bahwa tinggal di sekitar pembangkit listrik tenaga nuklir akan menyebabkan terkena radiasi yang tinggi. Meskipun di dalam reaktor terdapat banyak sekali unsur radioaktif, tetapi sistem keselamatan reaktor membuat jumlah lepasan radiasi ke lingkungan sangat kecil. Dalam kondisi normal, seseorang yang tinggal di radius 1-6 km dari reaktor menerima radiasi tambahan tak lebih daripada 0,005 mSv/Tahun. Nilai ini jauh lebih kecil daripada yang diterima dari alam kira-kira 2 mSv/Tahun atau 1/400 nilai radiasi dari alam.¹⁸

¹⁸ ¹⁸ Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta. h.58

C. Besaran dan Satuan Dosis Radiasi

1. Paparan

Paparan adalah kemampuan radiasi x-ray atau gamma untuk menimbulkan ionisasi di udara pada volume tertentu. Satuan paparan adalah coulomb/kilogram (C/kg).

2. Dosis serap

Dosis serap adalah energi rata-rata yang diserap bahan per satuan massa bahan tersebut. Satuan dosis serap adalah joule/kg atau gray (Gy). Dituliskan dengan persamaan berikut :

$$D = dE/dm \quad \dots(2.1)$$

Dimana :

D = Dosis Serap (Gy)

dE = Elemen Energi (joule)

dm = Massa (kg)

3. Dosis Ekuivalen

Dosis ekuivalen merupakan perkalian dosis serap dan faktor bobot radiasi. Faktor bobot radiasi adalah besaran yang merupakan kuantisasi radiasi untuk menimbulkan kerusakan pada jaringan/organ. Satuan dosis ekuivalen adalah Sievert (Sv). Ditulis dengan persamaan berikut :

$$H = D \omega_R N \quad \dots(2.2)$$

Dimana :

H = Dosis Ekuivalen (Sv)

D = Dosis Serap (Gy)

N = faktor modifikasi (1)

ω_R = faktor kualitas

4). Dosis Efektif

Dosis efektif adalah besaran dosis yang memperhitungkan sensitifitas organ/jaringan. Tingkat kepekaan organ/jaringan tubuh terhadap efek stokastik akibat radiasi disebut faktor bobot organ/jaringan tubuh (ω_t). Dosis efektif merupakan hasil perkalian dosis ekuivalen dengan faktor bobot jaringan/organ. Satuan dosis efektif adalah Sievert (Sv). Dituliskan dengan Persamaan Berikut :

$$E_T = \omega_T H \quad \dots(2.3)$$

Dimana :

E_T = Dosis Ewektif (Sv)

ω_T = Faktor bobot jaringan tubuh yaitu tingkat kepekaan organ/jaringan tubuh terhadap efek stokastik akibat radiasi.

H = Dosis ekuivalen (Sv)

5). Dosis Kolektif

Dosis kolektif adalah dosis ekuivalen atau dosis efektif yang digunakan apabila terjadi penyinaran pada sejumlah besar populasi penduduk. Penyinaran ini biasanya muncul akibat kecelakaan nuklir atau kecelakaan

radiasi. Simbol besaran untuk dosis kolektif adalah S_T dengan satuan sievert-man (Sv-man).¹⁹

$$S = \text{Dosis perorangan} \times \sum \text{Penduduk tersinar} \quad \dots(2.4)$$

D. Batas-batas dosis radiasi

Mengingat radiasi dapat membahayakan kesehatan, maka pemakaian radiasi perlu diawasi, baik melalui peraturan-peraturan yang berkaitan dengan pemanfaatan radiasi dan bahan-bahan radioaktif, maupun adanya badan pengawas yang bertanggung jawab agar peraturan-peraturan tersebut diikuti. Di Indonesia, badan pengawas tersebut adalah Bapeten (Badan Pengawas Tenaga Nuklir).

Teknik pengawasan keselamatan radiasi dalam masyarakat umumnya selalu berdasarkan pada konsep dosis ambang. Setiap dosis berapapun kecilnya akan menyebabkan terjadinya proses kelainan, tanpa memperhatikan panjangnya waktu pemberian dosis. Karena tidak adanya dosis ambang ini, maka masalah utama dalam pengawasan keselamatan radiasi adalah dalam batas dosis tertentu sehingga efek yang akan ditimbulkannya masih dapat diterima baik oleh masyarakat. Oleh karena itu, setiap kemungkinan penerimaan dosis oleh pekerja radiasi maupun anggota masyarakat bukan pekerja radiasi harus diusahakan serendah mungkin.²⁰

¹⁹ Sudibjo, Riyan. 2007. *Dosis-dosis Radiasi*. BATAN. Jakarta. h. 14

²⁰ Opcit.

Proteksi radiasi yang digunakan sekarang ditetapkan oleh Komisi Internasional untuk proteksi Radiasi *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) dalam suatu pernyataan yang mengatur pembatasan dosis radiasi, yang intinya sebagai berikut :

1. Suatu kegiatan tidak akan dilakukan kecuali mempunyai keuntungan yang positif dibandingkan dengan resiko, yang dikenal sebagai azas justifikasi.
2. Paparan radiasi diusahakan pada tingkat serendah mungkin yang bisa dicapai *as low as reasonably achievable* (ALARA) dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial, yang dikenal sebagai azas optimasi.
3. Dosis perorangan tidak boleh melampaui batas yang direkomendasikan oleh ICRP untuk satuan lingkungan tertentu, yang dikenal sebagai azas limitasi.²¹

Konsep untuk mencapai suatu tingkat serendah mungkin merupakan hal mendasar yang perlu dikendalikan, tidak hanya untuk radiasi tetapi juga untuk semua hal yang membahayakan lingkungan. Mengingat bahwa tidak mungkin menghilangkan paparan radiasi secara keseluruhan, maka paparan radiasi diusahakan pada tingkat yang optimal sesuai dengan kebutuhan dan manfaat dari sisi kemanusiaan.

Nilai batas dosis yang diberlakukan di Indonesia dicantumkan dalam Surat Keputusan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional Nomor: PN 03/160/DJ/89 menekankan bahwa pekerja yang berumur kurang dari 18 tahun tidak diizinkan untuk bertugas sebagai pekerja radiasi ataupun diberi tugas yang memungkinkan pekerja

²¹ Batan.go.id

tersebut mendapatkan penyinaran radiasi. Selain itu, pekerja wanita dalam masa menyusui tidak diizinkan mendapat tugas yang mengandung resiko kontaminasi radioaktif yang tinggi, jika perlu terhadap wanita ini dilakukan pengecekan khusus terhadap kemungkinan kontaminasi. Untuk itu, tujuan pemantauan dan pembatasan penyinaran dibedakan dua kategori pekerja radiasi yakni :

1. Kategori A, untuk pekerja radiasi yang mungkin menerima dosis sama dengan atau lebih besar dari 15 mSv (1500 mrem) per tahun.
2. Kategori B, untuk pekerja radiasi yang mungkin menerima dosis sama dengan atau lebih kecil dari 15 mSv (1500 mrem) per tahun.

Nilai batas dosis dalam satu tahun untuk pekerja radiasi adalah 50 mSv (5 rem), sedang untuk masyarakat umum adalah 5 mSv (500 mrem). Menurut laporan penelitian UNSCEAR, secara rata-rata setiap orang menerima dosis 2.8 mSv (280 mrem) per tahun, berarti seseorang hanya akan menerima sekitar setengah dari nilai batas dosis untuk masyarakat umum.

Ada dua catatan yang berkaitan dengan nilai batas dosis ini. Pertama, adanya anggapan bahwa nilai batas ini menyatakan garis yang tegas antara aman dan tidak aman. Hal ini tidak seluruhnya benar. Nilai batas ini hanya menyatakan batas dosis radiasi yang dapat diterima oleh pekerja atau masyarakat, sejauh pengetahuan yang ada hingga saat ini, yang lebih penting dari pemakaian nilai batas ini adalah diterapkannya prinsip ALARA pada setiap pemanfaatan radiasi. Untuk mengurangi kemungkinan terkena radiasi dengan dosis berlebihan perlu diingat pedoman kerja yang disingkat dengan *As Low As Reasonably Achievable*

(ALARA), yaitu bekerja dengan radiasi serendah-rendahnya yang masih memungkinkan untuk dicapai/dilaksanakan.²²

Adapun nilai batas dosis untuk seluruh tubuh yang bergantung pada pekerja radiasinya (dengan pengecualian wanita hamil dan wanita masa usia subur) adalah :

1. NBD untuk pekerja radiasi yang memperoleh penyinaran seluruh tubuh ditetapkan 50 mSv (5000 mrem) per tahun.
2. Batas tertinggi penerimaan pada abdomen pada pekerja radiasi wanita dalam masa subur ditetapkan tidak lebih dari 13 mSv (1300 mrem) dalam jangka waktu 13 minggu dan tidak melebihi NBD pekerja radiasi.
3. Pekerja wanita yang mengandung harus dilakukan pengaturan agar saat bekerja dosis yang diterima janin terhitung sejak dinyatakan mengandung hingga saat kelahiran diusahakan serendah-rendahnya dan sama sekali tidak boleh melebihi 10 mSv (1000 mrem) dan umumnya kondisi ini biasanya bekerja pada kategori B.

Penyinaran yang bersifat lokal yaitu pada bagian tubuh tertentu ditetapkan sebagai berikut :

- a. Batas dosis efektif yang dievaluasi adalah 50 mSv (5.000 mrem) dalam setahun dengan dosis rata-rata pada setiap organ tidak melebihi 500 mSv (50.000 mrem) dalam setahun.
- b. Batas dosis untuk lensa mata adalah 150 mSv (15.000 mrem) dalam setahun.
- c. Batas dosis untuk kulit adalah 500 mSv (50.000 mrem) dalam setahun. Apabila penyinaran berasal dari kontaminasi radioaktif pada kulit, batas ini berlaku untuk

²²http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/proteksiradiasi/pengenalan_radiasi/2-4.htm

dosis yang rata-rata pada setiap permukaan 100 cm.

- d. Batas dosis untuk tangan, kaki dan tungkai adalah 500 mSv (50.000 mrem) dalam setahun.

1) Dosis Radiasi alam

- a. Radiasi kosmik pada permukaan bumi secara rata-rata dosisnya sekitar 0,4 mSv (40 mrem) per tahun.
- b. Kerak bumi secara rata-rata kita menerima dosis 0,5 mSv (50 mrem) per tahun dari radiasi gamma alamiah yang berasal dari bebatuan dan tanah.
- c. Radon dosis efektif rata-rata dari gas radon ini sekitar 1,2 mSv (120 mrem) per tahun.

2) Dosis Radiasi buatan

- a. Kedokteran dosis efektif rata-rata yang berasal dari bidang kedokteran ini sekitar 0,4 mSv (40 mrem) per tahun.
- b. Uji coba bom nuklir dosis efektif rata-rata akibat radionuklida hasil uji coba bom nuklir sekitar 0,005 mSv (0,5 mrem) per tahun.
- c. Kecelakaan PLTN *chernobyl* kecelakaan ini menyebabkan dosis efektif rata-rata sekitar 0,002 mSv (0,2 mrem) per tahun
- d. PLTN dosis efektif rata-rata yang berasal dari energi nuklir ini sekitar 0,0002 mSv (0,02 mrem) per tahun.²³

²³Wrixon.A.D.,barraclogh.I., 2004. *Radiation, People dan the Environment*, IAEA, Austria. h.25

E. Efek biologi dari radiasi pengion

Ketika menembus jaringan tubuh, radiasi ionisasi menimbulkan kerusakan pada tubuh, terutama dengan ionisasi atom-atom pembentuk jaringan. Interaksi radiasi yang merusak pada tingkat atom akan menimbulkan perubahan molekul, yang menimbulkan kerusakan selular, serta menimbulkan fungsi sel abnormal atau hilangnya fungsi sel. Bila timbul kerusakan selular dari penggabungan radiasi, organisme hidup akan menunjukkan tanda kerusakan organik (perubahan somatik atau genetik pada organisme seperti mutasi, katarak, leukemia). Perubahan jumlah darah merupakan contoh klasik dari kerusakan organik yang berasal dari radiasi ionisasi. Dosis radiasi x-ray 25 rem dalam waktu beberapa hari, dapat mengurangi jumlah limfosit dalam darah.²⁴

Beberapa efek merugikan yang muncul pada tubuh manusia karena terpapar x-ray dan gamma segera teramati beberapa saat setelah penemuan kedua jenis radiasi tersebut. Efek merugikan tersebut berupa kerontokan rambut dan kerusakan kulit. Pada tahun 1897 di Amerika Serikat dilaporkan adanya 69 kasus kerusakan kulit yang disebabkan oleh x-ray, sedang pada tahun 1902 angka yang dilaporkan meningkat menjadi 170 kasus. Pada tahun 1911 di Jerman juga dilaporkan adanya 94 kasus tumor yang disebabkan oleh x-ray. Meskipun beberapa efek merugikan dari penyinaran x-ray dan gamma telah teramati, namun upaya perlindungan terhadap penyinaran x-ray maupun gamma belum

²⁴Edwards, Cris. 1990. *Perlindungan radiasi bagi pasien dan dokter gigi*. Widya Medika. Jakarta. h.33

terpikirkan. Marie Mercurie, penemu bahan radioaktif polonium dan radium meninggal pada tahun 1934 akibat terserang leukemia. Penyakit tersebut besar kemungkinan akibat paparan radiasi karena seringnya beliau berhubungan dengan bahan-bahan radioaktif.

Tabel 2.1. Dosis radiasi dan efek biologinya.²⁵

DOSIS	Efek Biologi
25 rem	Perubahan darah
100 rem	(dalam waktu singkat) sindrom radiasi akut
150 rem	mual, diare
250 rem	pada gonad, sterilitas sementara
450 rem	50% kemungkinan kematian, LD 50/30 (dosis lethal untuk 50% masyarakat diatas 30 Hari)
600 rem	Kematian

Dilihat dari proses berlangsungnya, ada dua jenis penyinaran terhadap jaringan tubuh,

Yaitu :

1. Penyinaran dalam waktu singkat (akut) yang umumnya terjadi pada kecelakaan.

Penyinaran akut yang melibatkan radiasi dosis tinggi dapat menimbulkan efek biologi seketika, yaitu efek yang kemunculannya kurang dari satu tahun sejak terjadinya penyinaran. Namun penyinaran akut dapat pula menimbulkan efek biologi tertunda apabila dosis radiasinya tidak tinggi.

²⁵Edwards, Cris. 1990. *Perlindungan radiasi bagi pasien dan dokter gigi*. Widya Medika.Jakarta.,h.7

2. Penyinaran oleh radiasi dosisi rendah namun berlangsung terus-menerus (kronis).
 Penyinaran jenis ini biasanya tidak segera nampakkan efeknya, sehingga efek yang ditimbulkan disebut efek tertunda. Efek ini dapat muncul setelah beberapa tahun bahkan puluhan tahun dari saat penyinaran.²⁶

F. Mekanisme Pendeteksian Radiasi

Detektor merupakan suatu bahan yang peka terhadap radiasi, yang bila dikenai radiasi akan menghasilkan tanggapan mengikuti mekanisme yang telah dibahas sebelumnya. Perlu diperhatikan bahwa suatu bahan yang sensitif terhadap suatu jenis radiasi belum tentu sensitif terhadap jenis radiasi yang lain. Sebagai contoh, detektor radiasi gamma belum tentu dapat mendeteksi radiasi neutron.

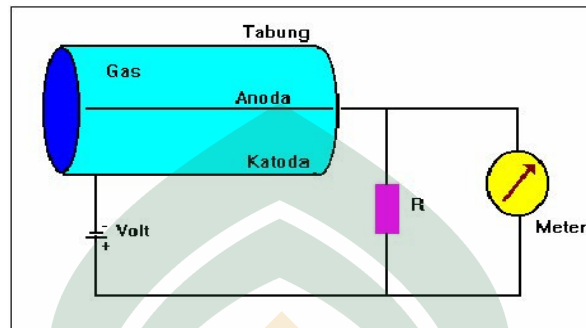
Detektor radiasi bekerja dengan cara mengukur perubahan yang disebabkan oleh penyerapan energi radiasi oleh medium penyerap. Terdapat banyak jenis detektor, diantaranya adalah detektor isian gas, detektor semikonduktor, proses ionisasi dan proses sintilasi.

1. Detektor Isian Gas

Detektor isian gas merupakan detektor yang paling sering digunakan untuk mengukur radiasi. Detektor ini terdiri dari dua elektroda, positif dan negatif, serta berisi gas di antara kedua elektrodanya. Elektroda positif disebut sebagai anoda, yang dihubungkan ke kutub listrik positif, sedangkan elektroda negatif disebut sebagai katoda, yang dihubungkan ke kutub negatif. Kebanyakan

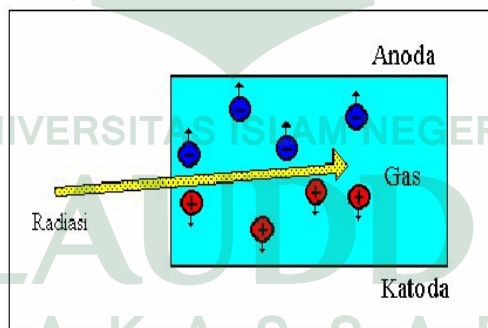
²⁶ Wiyatmo, Yusman. 2009. *Fisika Nuklir*. Pustaka Belajar. Jogjakarta. h. 68

detektor ini berbentuk silinder dengan sumbu yang berfungsi sebagai anoda dan dinding silindernya sebagai katoda.



Gambar 2.14 : Detektor Isian Gas
(Sumber : batan.go.id)

Radiasi yang memasuki detektor akan mengionisasi gas dan menghasilkan ion-ion positif dan ion-ion negatif (elektron). Jumlah ion yang akan dihasilkan tersebut sebanding dengan energi radiasi dan berbanding terbalik dengan daya ionisasi gas. Daya ionisasi gas berkisar dari 25 eV s.d. 40 eV. Ion-ion yang dihasilkan di dalam detektor tersebut akan memberikan kontribusi terbentuknya pulsa listrik ataupun arus listrik.



Gambar 2.15 : Proses terbentuknya pulsa listrik pada detektor isian gas
(sumber : batan.go.id)

Ion-ion primer yang dihasilkan oleh radiasi akan bergerak menuju elektroda yang sesuai. Pergerakan ion-ion tersebut akan menimbulkan pulsa atau arus listrik. Pergerakan ion tersebut di atas dapat berlangsung bila di antara

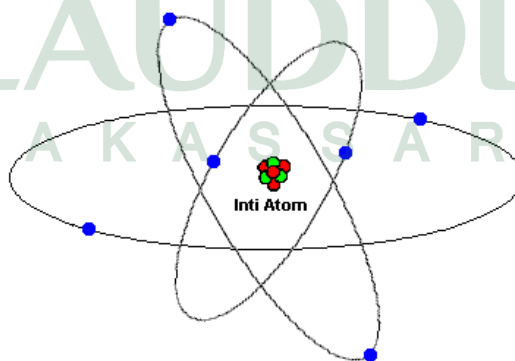
dua elektroda terdapat cukup medan listrik. Bila medan listriknya semakin tinggi maka energi kinetik ion-ion tersebut akan semakin besar sehingga mampu untuk mengadakan ionisasi lain.

2. Detektor semikonduktor

Bahan semikonduktor yang ditemukan relatif lebih baru daripada detektor di atas, terbuat dari unsur golongan IV pada tabel periodik yaitu silikon atau germanium. Detektor ini mempunyai beberapa keunggulan yaitu lebih efisien dibandingkan dengan detektor isian gas, karena terbuat dari zat padat, serta mempunyai resolusi yang lebih baik daripada detektor sintilasi.

3. Proses Ionisasi

Ionisasi adalah peristiwa lepasnya elektron dari ikatannya karena menyerap energi eksternal. Peristiwa ini dapat terjadi secara langsung oleh radiasi alpha atau beta dan secara tidak langsung oleh radiasi x-ray, gamma dan neutron.



Gambar 2.16 Atom
(Sumber : Batan.go.id)

Jumlah elektron lepas (N) sebanding dengan jumlah energi yang terserap ΣE dibagi dengan daya ionisasi materi penyerap (w).

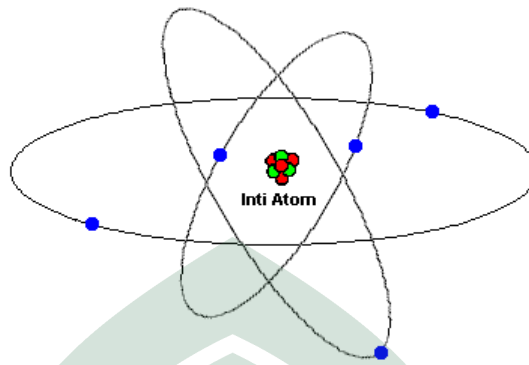
$$N = \frac{\Sigma E}{w} \quad \text{.....(2.5)}$$

Dalam proses ionisasi, energi radiasi diubah menjadi pelepasan sejumlah elektron (energi listrik). Bila terdapat medan listrik maka elektron akan bergerak menuju ke kutub positif sehingga dapat menginduksikan arus atau tegangan listrik. Semakin besar energi radiasinya maka arus atau tegangan listrik yang dihasilkannya juga semakin besar pula.

4. Proses Sintilasi

Proses sintilasi adalah terpancarnya percikan cahaya ketika terjadi transisi elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah di dalam detektor, bila terdapat kekosongan elektron pada orbit yang lebih dalam. Kekosongan tersebut dapat disebabkan oleh lepasnya elektron (proses ionisasi) atau loncatnya elektron ke lintasan yang lebih tinggi ketika dikenai radiasi (proses eksitasi).

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALA UDDIN
M A K A S S A R



Gambar 2.17 Atom
(Sumber : Batan.go.id)

Dalam proses sintilasi ini, energi radiasi diubah menjadi pancaran cahaya tampak. Semakin besar energi radiasi yang diserap maka semakin banyak percikan cahayanya.²⁷

G. Alat Ukur Radiasi

Berdasarkan kegunaannya, alat ukur radiasi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Alat ukur proteksi radiasi.
2. Sistem pencacah dan spektroskopi.

Alat ukur proteksi radiasi digunakan untuk kegiatan keselamatan kerja dengan radiasi, nilai yang ditampilkan dalam satuan dosis radiasi seperti Rontgent, rem, atau Sievert. Sedangkan sistem pencacah dan spektroskopi digunakan untuk melakukan pengukuran intensitas radiasi dan energi radiasi secara akurat. Sistem pencacah lebih banyak digunakan di fasilitas laboratorium.

²⁷http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Dasar_02.htm

Untuk menghitung kebocoran radiasi dari alat ukur digunakan persamaan berikut:

$$\text{Kebocoran } (\mu\text{Gy/h}) = \frac{mA \text{ Contur Alat (A)}}{mA \text{ yang digunakan (A)}} \times \text{hasil pengukuran } (\mu\text{Gy/h}) \text{ ..(2.6)}$$

a. Alat Ukur Proteksi Radiasi

Sebagai suatu ketentuan yang diatur dalam undang-undang bahwa setiap pengguna zat radioaktif atau sumber radiasi pengion lainnya harus memiliki alat ukur proteksi radiasi. Alat ukur proteksi radiasi dibedakan menjadi tiga, yaitu :

- 1) Dosimeter perorangan
- 2) Surveimeter
- 3) Monitor kontaminasi.

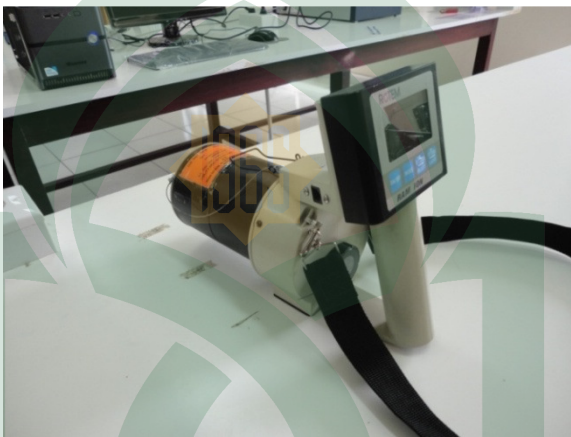


Gambar 2.18. Alat ukur Radiasi
(Sumber : Wikipedia.com 2012)

a) Surveimeter

Surveimeter adalah alat ukur radiasi yang dapat menampilkan hasil pengukuran secara langsung pada saat dikenai radiasi. Alat tersebut berfungsi

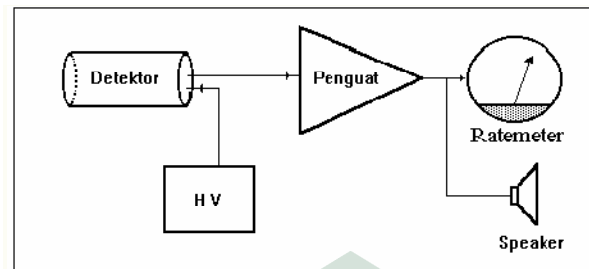
untuk mengukur laju paparan radiasi secara langsung di tempat kerja. Sehingga seorang pekerja radiasi dapat memperkirakan jumlah radiasi yang akan diterimanya bila akan bekerja di suatu lokasi selama waktu tertentu. Dengan informasi yang ditunjukkan surveimeter ini, setiap pekerja dapat menjaga diri agar tidak terkena paparan radiasi yang melebihi batas ambang yang diizinkan.



Gambar 2.19 Surveimeter

(Sumber : BPFK Makassar 2012/Dokumentasi Penulis)

Sebagaimana fungsinya, suatu surveimeter harus dapat memberikan hasil pengukurannya pada saat itu juga, pada saat melakukan pengukuran, dan bersifat portable meskipun tidak perlu sekecil sebuah dosimeter personal. Konstruksi surveimeter, sebagaimana sistem pengukur radiasi yang lain terdiri atas detektor dan peralatan penunjang seperti terlihat gambar berikut Model pengukuran yang diterapkan disini adalah cara arus (*current mode*) sehingga alat peraga yang digunakan adalah '*ratemeter*'.



Gambar 2.20 Konstruksi surveimeter
(Sumber : Batan.go.id)

b). Personel monitor

1). *Pocket Dosimeter* (Dosimeter saku)

Dosimeter ini sebenarnya merupakan detektor kamar ionisasi sehingga prinsip kerjanya sama dengan detektor isian gas akan tetapi tidak menghasilkan tanggapan secara langsung karena muatan yang terkumpul pada proses ionisasi akan disimpan seperti halnya suatu kapasitor.



Gambar 2.21 Dosimeter Saku
(Sumber : BPFK Surabaya)

2). Film Badge

Film badge adalah detektor yang berbentuk film fotografi yang berbentuk emulsi butiran perak helida (AgBr). *Film badge* terdiri atas dua bagian yaitu detektor film dan holder. Sebagaimana telah dibahas sebelum ini, bahwa detektor film dapat menyimpan dosis radiasi yang telah mengenainya secara akumulasi selama film belum diproses. Semakin banyak dosis radiasi yang telah mengenainya atau telah mengenai orang yang memakainya maka tingkat kehitaman film setelah diproses akan semakin pekat.



Gambar 2.22 Film Badge
(Sumber : BPFK Surabaya)

3). Termo Luminiscence Dosimeter (TLD)

Termo Luminiscence Dosimeter (TLD) menggunakan bahan kristal an organik seperti LIF yang bila dikenai radiasi maka mempunyai proses sintilasi. Dosimeter ini sangat menyerupai dosimeter *film badge*, hanya detektor yang digunakan ini adalah kristal anorganik thermoluminisensi, misalnya bahan LIF. Proses yang terjadi pada bahan ini bila dikenai radiasi

adalah proses termoluminisensi. Senyawa lain yang sering digunakan untuk TLD adalah CaSO_4 .²⁸



Gambar 2.23 TLD
(Sumber : BPFK Surabaya/Dokumentasi Penulis)

c. Monitor Kontaminasi

Kontaminasi merupakan suatu masalah yang sangat berbahaya, apalagi kalau sampai terjadi di dalam tubuh. Kontaminasi sangat mudah terjadi kalau bekerja dengan sumber radiasi terbuka, misalnya berbentuk cair, serbuk, atau gas. Adapun yang terkontaminasi biasanya adalah peralatan, meja kerja, lantai, tangan dan sepatu.

Jika intensitas radiasi yang dipancarkan oleh sesuatu yang telah terkontaminasi sangat rendah, maka alat ukur ini harus mempunyai efisiensi pencacahan yang sangat tinggi. Detektor yang digunakan untuk monitor kontaminasi ini harus mempunyai jendela (*window*) yang luas, karena

²⁸ Seeram, 2001, *x-ray*. Bushberg, 2002, Goldman, 2007

kontaminasi tidak selalu terjadi pada satu daerah tertentu, melainkan tersebar pada permukaan yang luas. Tampilan dari monitor kontaminasi ini biasanya menunjukkan kuantitas radiasi (laju cacah) seperti cacah per menit atau cacah per detik (cpd).

H. Kalibrasi Alat Ukur

Sudah merupakan suatu ketentuan bahwa setiap alat ukur proteksi radiasi harus di kalibrasi secara periodik oleh instansi yang berwenang. Hal ini dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dan yang sebenarnya harus dikoreksi dengan suatu parameter yang disebut sebagai faktor kalibrasi (F_k). Dalam melakukan pengukuran, nilai yang ditampilkan alat harus dikalikan dengan faktor kalibrasinya. Secara ideal, faktor kalibrasi ini bernilai satu, akan tetapi pada kenyataannya tidak banyak alat ukur yang mempunyai faktor kalibrasi sama dengan satu.

I. Sistim Pembatasan Dosis

Untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup pengusaha instalasi yang melaksanakannya setiap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi prinsip - prinsip keselamatan dan kesehatan sebagai berikut :

1. Setiap Pemamfaatan tenaga nuklir harus mempunyai manfaat yang lebih besar dibanding dengan resiko yang ditimbulkan.
2. Penerima dosis radiasi terhadap pekerja atau masyarakat melebihi nilai batas

yang ditetapkan Badan pengawas. Kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir harus direncanakan dan sumber radiasi harus dirancang dan dioperasikan untuk menjamin agar paparan radiasi yang terjadi ditekan serendah-rendahnya.

J. Syarat Peralatan Radiasi

1. Pengusaha instalasi yang merancang, membuat, mengoperasikan dan merawat sistem dan komponen sumber radiasi yang mempunyai potensi bahaya radiasi harus mencegah terjadinya penerimaan dosis yang berlebih.
2. Sistem dan komponen sumber radiasi tersebut harus dirancang dan dibuat sesuai dengan standar.
3. Dalam menerapkan dosis untuk keperluan medik dengan tujuan diagnostik dan terapi, pengusaha instalasi harus memperhatikan perlindungan pasien terhadap radiasi.

K. Proteksi Terhadap Radiasi

Bahaya radiasi dapat dikendalikan dengan menggunakan tiga prinsip dasar proteksi radiasi, yaitu pengaturan waktu, pengaturan jarak, dan penggunaan perisai radiasi.

1. Pengaturan waktu

Seorang pekerja radiasi yang berada di dalam medan radiasi akan menerima dosis radiasi yang besarnya sebanding dengan lamanya pekerja tersebut di dalam medan radiasi. Semakin lama seseorang berada dalam di tempat itu maka semakin besar pula dosis yang akan diterimanya,

demikian pula sebaliknya. Dosis radiasi yang diterima oleh pekerja selama berada di dalam medan radiasi dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$D = \dot{D} t \quad \dots(2.7)$$

dengan :

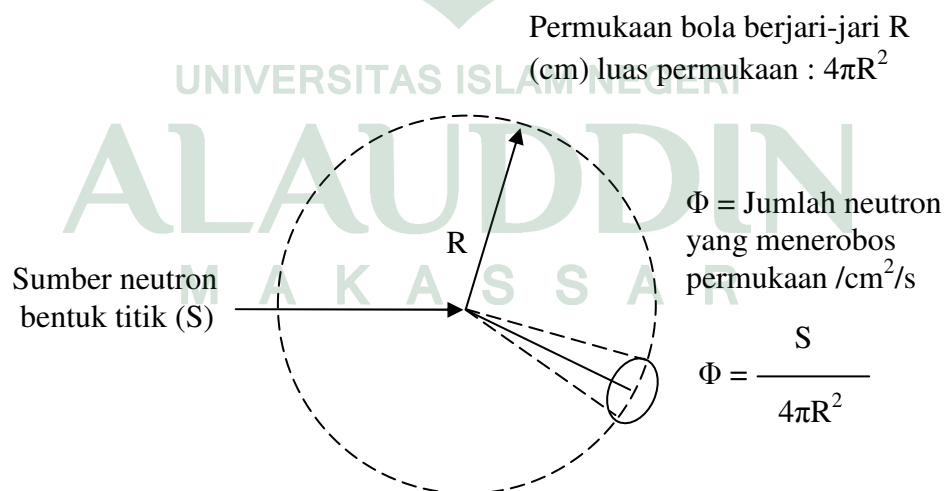
D = dosis akumulasi yang diterima pekerja ($\mu\text{Gy}/\text{menit}$)

\dot{D} = laju dosis serap dalam medan radiasi ($\mu\text{Gy}/\text{menit}$)

t = lamanya seseorang berada di dalam medan radiasi (menit)

2. Pengaturan Jarak

Faktor jarak berkaitan erat dengan fluks (ϕ) radiasi. Fluks radiasi pada suatu titik akan berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik tersebut dengan sumber radiasi. Berikut ini diberikan sumber yang memancarkan radiasi dengan jumlah pancaran S ($\mu\text{Gy}/\text{s}$). Fluks radiasi didefinisikan sebagai jumlah radiasi yang menembus luas permukaan (dalam cm^2) per satuan waktu (s). Fluks radiasi pada permukaan bola dengan jari-jari R_1 dan R_2 masing-masing adalah :



Gambar 2.24 Hubungan antara Fluks Radiasi dan Jarak Pengukuran
(Sumber : Mukhlis Alkhadi-Dasar-dasar proteksi radiasi)

$$\Phi_1 = \frac{S}{4\pi R_1^2} \quad \dots(2.8)$$

$$\Phi_2 = \frac{S}{4\pi R_2^2} \quad \dots(2.9)$$

Dari persamaan (2.8) dan (2.9) diatas diperoleh :

$$\Phi_1 : \Phi_2 = \frac{S}{4\pi R_1^2} : \frac{S}{4\pi R_2^2} \quad \dots(2.10)$$

Atau

$$\Phi_1 : \Phi_2 = \frac{1}{R_1^2} : \frac{1}{R_2^2} \quad \dots(2.11)$$

Dengan :

Φ = Fluks radiasi (cm^2/s)

S = Sumber neutron bentuk titik ($\mu\text{Gy/s}$)

R = Jari-jari Bola (cm^2)

π = Kostanta (3,14)

Dari persamaan (2.10) dan (2.11) terlihat bahwa fluks radiasi pada suatu titik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak titik tersebut terhadap sumber radiasi dan dituliskan dengan laju dosis pada suatu titik dapat dirumuskan dengan :

$$D_1 : D_2 : D_3 = \frac{1}{R_1^2} : \frac{1}{R_2^2} : \frac{1}{R_3^2} \quad \dots(2.12)$$

atau ;

$$\dot{D}_1 \cdot R_1^2 = \dot{D}_2 \cdot R_2^2 = \dot{D}_3 \cdot R_3^2 \quad \dots(2.13)$$

Dengan :

\dot{D} = laju dosis serap pada suatu titik ($\mu\text{Gy}/\text{cm}^2$)

R = Jarak antara titik dengan sumber radiasi (cm^2)

3. Penggunaan Perisai radiasi

Penanganan pada sumber-sumber radiasi dengan aktivitas sangat tinggi seringkali pengaturan waktu dan jarak kerja tidak mampu menekan penerimaan dosis yang telah ditetapkan. Oleh sebab itu, dalam penanganan sumber-sumber beraktivitas tinggi ini juga diperlukan perisai radiasi. Sifat dari bahan perisai ini harus mampu menyerap energi radiasi yang dimana harus memperhitungkan intensitas radiasi yang diproteksi tersebut.

Intensitas radiasi dapat dihitung menggunakan rumus intensitas berikut :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots(2.14)$$

Dengan :

I = Intensitas setelah melewati perisai.

I_0 = Intensitas sebelum melewati perisai.

μ = Koefesian absorsi linier bahan perisai terhadap radiasi

x = tebal perisai.²⁹

Laju dosis radiasi elektromagnetik selalu berbanding lurus dengan intensitas radiasinya, sehingga dari persamaan (2.14) dapat dituliskan persamaan berikut :

²⁹ Akhadi, Muklis.2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*.Rineka Cipta.Jakarta.,h.188

$$\dot{D} = \dot{D}_0 e^{-\mu x} \quad \dots(2.15)$$

dengan :

\dot{D} = laju dosis radiasi setelah melewati perisai.

\dot{D}_0 = laju dosis radiasi sebelum melewati perisai.

μ = Koefesian absobsi linier bahan perisai terhadap radiasi

x = tebal perisai.³⁰

L. Tembaga (Cu)

Tembaga adalah unsur kimia dengan simbol Cu dengan nomor atom 29, yang ditemukan sebagai bijih tembaga yang masih bersenyawa dengan zat asam, asam belerang atau bersenyawa dengan kedua zat tadi. Logam ini termasuk logam berat non ferro (logam dan paduan yang tidak mengandung Fe dan C sebagai unsur dasar) yang memiliki sifat penghantar listrik dan panas yang tinggi, keuletan yang tinggi dan sifat tahanan korosi yang baik. Sehingga produksi tembaga sebagian besar dipakai sebagai kawat atau bahan untuk menukar panas dalam memanfaatkan hantaran listrik dan panasnya yang baik. Biasanya dipergunakan dalam bentuk paduan, karena dapat dengan mudah membentuk paduan dengan logam – logam lain diantaranya dengan logam Pb dan logam Sn. (Van Vliet,et.all.,1984)

M. Molibdenum (Mo)

Molybdenum adalah salah satu logam pertama yang ditemukan oleh para ahli kimia modern. Ditemukan pada tahun 1778 oleh kimiawan Swedia Carl Wilhelm

³⁰ Akhadi, Muklis.2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*.Rineka Cipta.Jakarta.,h.188

Scheele. Molybdenum adalah logam transisi, sehingga menempatkannya di tengah-tengah tabel periodik, dengan nomor atom 42. Tabel periodik itu sendiri adalah suatu bagan yang menunjukkan bagaimana unsur-unsur kimia yang terkait antara satu dengan yang lain.

Molybdenum bersifat keras, seperti logam perak dengan titik leleh sangat tinggi. Molybdenum biasanya digunakan untuk menjadi campuran dengan logam lain. Campuran sendiri akan memiliki sifat berbeda dari unsur logam yang pertama, Molybdenum biasanya sering dicampur dengan baja untuk meningkatkan kekuatan, ketangguhan, ketahanan terhadap keausan dan korosi, dan kemampuan untuk mengeraskan baja.

BAB III

METODOLOGI

A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Adapun waktu dan tempat pelaksanaan penelitian ini adalah

- Tanggal : 17 Juli – 1 Oktober 2012
- Tempat : Laboratorium Fisika Modern Jurusan Fisika Fak. Sains dan Teknologi UIN Alauddin.

B. Instrumen

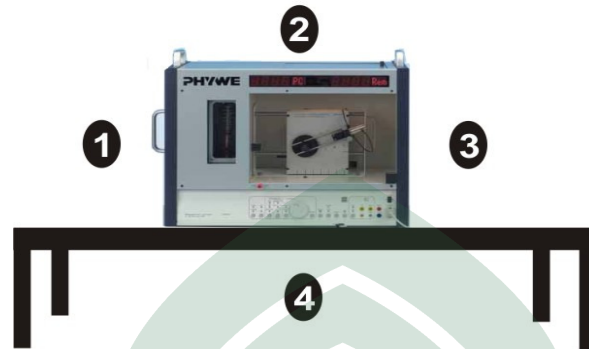
Adapun instrument yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Phywe x-ray unit
2. Surveimeter
3. Meteran
4. Stopwatch

C. Prosedur Penelitian

1. Studi literatur tentang x-ray, radiasi, serta pengamanannya.
2. Mempersiapkan alat dan bahan.
3. Memeriksa dan mengukur kemungkinan kebocoran radiasi/tabung dari *phywe x-ray unit* dengan *surveymeter* di titik yang di tentukan pada gambar di bawah ini.

Tampak dari Depan



Tampak Dari Atas

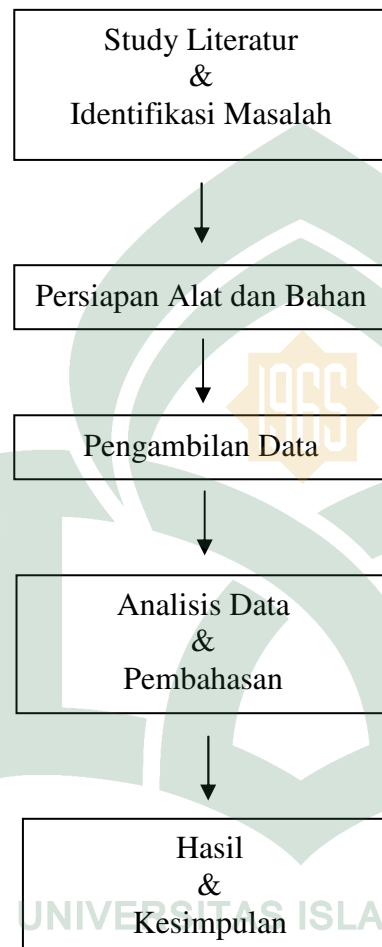


Gambar 3.1 Titik pengukuran kebocoran

4. Mencatat hasil pengukuran tiap titik pada tabel di bawah ini :

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Surveimeter
1.			
2.			
3.			
Dst			

5. Menganalisis hasil pengukuran *surveymeter*.
6. Menbuat peta daerah titik kebocoran radiasi di ruangan tempat *phywe x-ray* unit.
7. Membuat kesimpulan hasil penelitian.

D. Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengamatan

4.1 Tabel pengukuran radiasi sumber x-ray dengan bahan *Mo*

4.1.1 Tabel pengukuran radiasi dengan titik-titik yang sudah ditentukan :

4.1.1.1 Hasil Pengukuran Pada Titik 1.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0
2.	200	60	0

4.1.1.2 Hasil Pengukuran Pada Titik 2.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0

4.1.1.3 Hasil Pengukuran Pada Titik 3.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0
2.	200	60	261,12
3.	300	60	67,32
4.	400	60	0
5.	500	60	0

Hasil Pengukuran Pada Titik 4.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	45	60	0

4.1.1.5 Hasil Pengukuran Pada Titik 5.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	80	60	0

4.1.1.6 Hasil Pengukuran Pada Titik 6.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0
2.	200	60	0

4.1.1 Tabel pengukuran pemeriksaan kebocoran di dalam ruangan

4.1.2.1 Hasil Pengukuran Pada Titik 1 dan 2.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	60	60	16,32

4.1.2.2 Hasil Pengukuran Pada Titik 6 dan 3.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	250	60	14,28

Tabel pengamatan sumber x-ray dengan bahan *Cu*

4.2.1 Tabel pengukuran pada titik-titik yang sudah ditentukan.

4.2.1.1 Hasil Pengukuran Pada Titik 1.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0
2.	200	60	0

4.2.1.2 Hasil Pengukuran Pada Titik 2.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0

4.2.1.3 Hasil Pengukuran Pada Titik 3.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0
2.	200	60	0
3.	300	60	37,74
4.	400	60	0
5.	500	60	0

4.2.1.4 Hasil Pengukuran Pada Titik 4.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	45	60	0

4.2.1.5 Hasil Pengukuran Pada Titik 5.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	80	60	0

4.2.1.6 Hasil Pengukuran Pada Titik 6.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	100	60	0
2.	200	60	18,36
3.	300	60	0
4.	400	60	0

4.2.2 Tabel pengukuran pada titik-titik yang sudah ditentukan

4.2.2.1 Tabel Hasil Pengukuran Pada Titik 1 dan 6.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	150	60	36,72

4.1.2.3 Hasil Pengukuran Pada Titik 3 dan 6.

No.	Jarak (cm)	Waktu (s)	Hasil Pengukuran Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)
1.	650	60	276,42

B. Pembahasan

Penelitian ini menggunakan dua sumber atau target x-ray yaitu *Mo* (*molybdenum*) dan *Cu* (*Copper*). Pengambilan data dilakukan pada 6 titik pengukuran dari sumber radiasi, yaitu dari sisi kanan (titik 1), atas (titik 2), sisi kiri (titik 3), bawah (titik 4), depan (titik 5) dan, belakang (titik 6). Selain 6 titik yang sudah ditentukan tadi, pengukuran kebocoran radiasi juga dilakukan di seluruh bagian dalam dan di luar ruangan alat tersebut (pengukuran paparan radiasi). Surveimeter yang digunakan pada penelitian ini adalah surveimeter digital yang sudah bersertifikat kalibrasi pada tanggal 8 November 2011 dengan faktor kalibrasi 1,02 bermerek Ram IDN Di94-0042 / 2202-19 yang dipinjam di BPFK Makassar.

Sebelum *phywe x-ray unit* dinyalakan, pertama-tama dilakukan pengukuran radiasi di seluruh bagian dalam ruangan, hasil pengukuran surveimeter tidak menunjukkan adanya kebocoran radiasi dari alat tersebut. Salah satu syarat pembentukan x-ray adalah dengan adanya arus atau tegangan sebagai pembangkitnya.

Hasil pengukuran dari surveimeter untuk sampel x-ray yang menggunakan sumber *Mo* (*molibdenum*) menunjukkan hasil positif terdapat kebocoran radiasi yang terdapat pada titik 3 sebesar 261,12 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 200 cm dan 67,32 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 300 cm. Titik 3 merupakan arah lurus penyinaran dari x-ray, sehingga terdapat kebocoran yang besar dalam

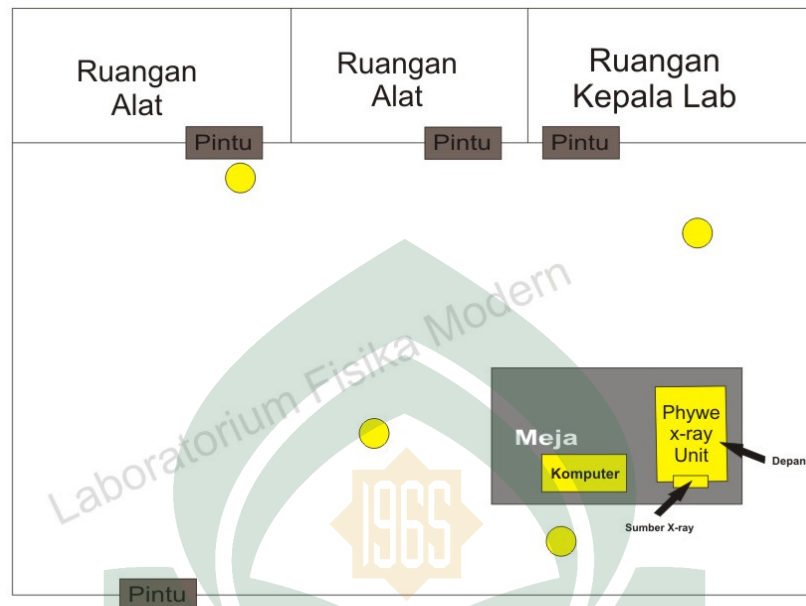
pengukurannya. Dalam praktikum, alat ini digunakan sekurang-kurangnya 6 kali dengan waktu ± 2 Jam per pemakaiannya. Jika radiasi yang dikeluarkan alat tersebut mengenai manusia secara terus menerus akan dapat berakibat pada kesehatannya, seperti yang dijelaskan pada tinjauan pustaka bila manusia terkena radiasi secara terus-menerus akan berakibat pada kerusakan sel-sel atau jaringan tubuh bahkan dapat menyebabkan kematian. Pengamatan dari hasil pengukuran surveimeter pada titik 1, 2, 4, 5 dan 6 menunjukkan hasil negatif, tetapi ini tidak menjamin bahwa tidak ada kebocoran pada sisi tersebut sebab dari pengukuran radiasi di dalam ruangan surveimeter sempat membaca kebocoran radiasi 14,28 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ antara sisi 6 dan 3 dengan jarak 250 cm dan pada saat berpindah dari titik 1 ke titik 2 sebesar 16,32 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$.

Sumber x-ray yang menggunakan bahan *Cu (copper)* juga menunjukkan hasil positif adanya kebocoran radiasi yaitu pada titik 3 sebesar 37,74 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 300 cm. Kebocoran juga terdeteksi pada titik 6 sebesar 18,36 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 200 cm. Titik 3 dan 6 adalah arah penyiranan x-ray, sehingga terdeteksi kebocoran pada titik ini. Pada titik 1, 2, 4 dan 5 menunjukkan hasil negatif atau tidak terdeteksi radiasi. Kebocoran Radiasi juga terdeteksi saat pengambilan data diluar dari titik yang ditentukan. Surveimeter mendeteksi adanya kebocoran radiasi yaitu antara titik 1 dan 6 sebesar 36,72 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 150 cm dan antara titik 6 dan 3 sebesar 276,42 $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$ pada jarak 650 cm. Jika radiasi yang dikeluarkan alat tersebut terus-menerus mengenai manusia akan dapat berakibat pada kesehatannya, karena kelebihan dosis radiasi yang telah

ditentukan.

Dari data diatas, didapatkan hasil pengukuran surveimeter yang berfluktuasi atau berubah-ubah, terkadang pengukurannya besar, terkadang juga kecil dan juga kadang-kadang tidak ada. Perubahan data dari pengukuran ini dikarenakan pembangkit x-ray pada phywe x-ray unit berada dalam kotak pengamatan, sehingga radiasi yang dipancarkan terkadang keluar dan menembus kotak pengamatan tersebut dan terdeteksi oleh surveimeter dengan jumlah yang berubah-ubah. Penyebab perubahan radiasi yang ada di dalam ruangan juga dikarenakan pemantulan radiasi yang berada dalam ruangan, sehingga pengukuran radiasi terkadang besar dan terkadang kecil. Pemeriksaan kebocoran radiasi juga dilakukan diseluruh bagian dalam dan luar ruangan selain dari titik yang sudah ditentukan. Di dalam ruangan terdapat kebocoran beberapa titik selain pada titik yang sudah ditentukan sesuai dengan hasil pengukuran surveimeter, sedangkan di luar ruangan surveimeter tidak mendeteksi kebocoran radiasi karena radiasi tak dapat menembus tembok ruangan tersebut.

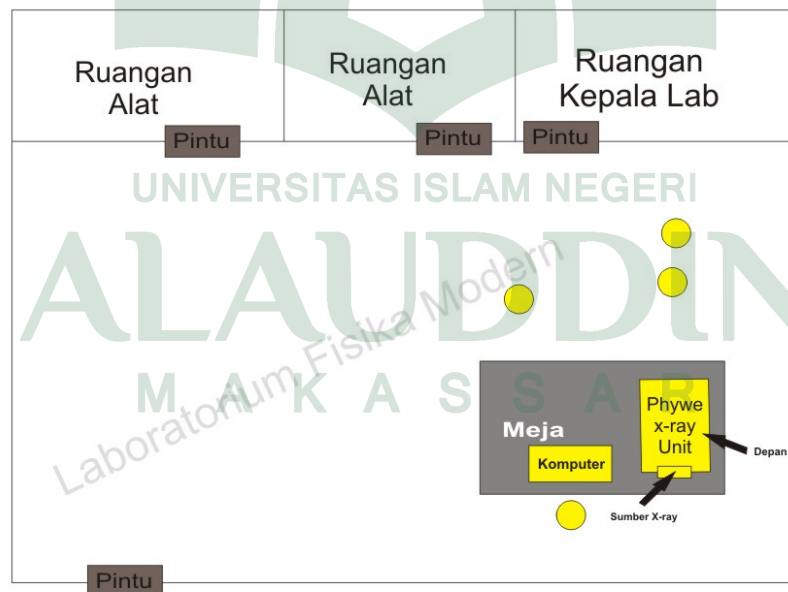
Data dari hasil pengukuran ini menunjukkan adanya kebocoran radiasi dari phywe x-ray unit yang terjadi secara terus menerus dengan waktu yang berbeda-beda dan dosis yang berbeda-beda pula. Sangat berbahaya bila terkena radiasi ini secara terus menerus. Berikut ini adalah peta hasil pengukuran penyebaran radiasi di dalam ruangan penelitian.



Keterangan :

● Terdeteksi Ada Radiasi

Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Titik Radiasi dari Sumber Cu
(Sumber : Penulis)



Keterangan :

● Terdeteksi Ada Radiasi

Gambar 4.2 Peta Hasil Pengukuran Titik radiasi dari bahan *Mo*
(Sumber : Penulis)

Karena bahaya yang ditimbulkannya sangat besar, maka alat ini harus diletakkan di ruangan khusus anti radiasi dan menyediakan perangkat anti radiasi. Karena melihat peta hasil pengukuran radiasi dari ke dua bahan sumber x-ray *Mo* dan *Cu* hampir seluruh bagian dalam ruangan terdapat kebocoran. Terutama arah titik 3, 6 dan 5 karena merupakan arah penyinaran x-ray.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengukuran yang menggunakan surveimeter didapatkan hasil bahwa terdeteksi kebocoran radiasi dari kedua bahan sumber x-ray. Bahan *Mo (molibdenum)* kebocoran terdapat pada titik 3, diantara titik 1 dan 2, serta diantara titik 6 dan 3 masing-masing sebesar 261,12 $\mu\text{Sv/Jam}$, 16,32 $\mu\text{Sv/Jam}$ dan 14,28 $\mu\text{Sv/Jam}$. Kebocoran Sumber x-ray dari bahan *Cu (Copper)* terdapat pada titik 3, 6, diantara titik 1 dan 6, dan diantara titik 3 dan 6 dengan dengan masing-masing nilai kebocorannya sebesar 34,74 $\mu\text{Sv/Jam}$, 18,36 $\mu\text{Sv/Jam}$, 36,72 $\mu\text{Sv/Jam}$ dan 276,42 $\mu\text{Sv/Jam}$. Kebocoran radiasi *Phywe x-ray* unit berbahaya bagi manusia, bisa menimbulkan kanker hingga kematian jika terkena radiasinya secara terus menerus.

B. Saran

1. Sebaiknya *phywe x-ray* unit ditempatkan di ruangan khusus dan penggunaanya menggunakan peralatan anti radiasi agar tidak membahayakan penggunaanya.
2. Untuk keamanan penggunaanya, sebaiknya *phywe x-ray* unit dikalibrasi secara rutin.
3. Untuk peneliti dan pengguna sebaiknya menggunakan alat proteksi radiasi seperti TLD atau Flm badge, kacamata anti radiasi, dan baju anti radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, Muklis. 2000. *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Anies.2005. *Electrical Sensitivity*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Aryawardhana, W. *Radioekologi*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Bushberg, 2002, *Radiation* .Penerbit buku kedokteran EGC. Jakarta
- Gabriel, J.F. 1996. *Fisika Kedokteran*. Penerbit buku kedokteran EGC. Jakarta
- Goldman, 2007. *CT scanner dosimetry*. Penerbit buku kedokteran EGC. Jakarta
- Departemen Agama RI. 2007. *Al-quran dan Terjemahnya*. Penerbit Diponegoro.
Jakarta
- Departemen pendidikan nasional,2001. *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Bali
Pustaka Jakarta.
- Wiyatmo,Yusman. 2009. *Fisika Nuklir*. Pustaka Belajar. Jogjakarta.
- Syukur, M. 1974, *Pemanfaatan Radioaktif dan Pengamanannya*. Graha Ilmu.
Yogyakarta.
- Wirjosimin, S. 1995. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*, Penerbit ITB. Bandung.
- Robert.Bosch.Breite. 2007.*PHYWE Systeme GmbH & Co. KG · D-37079 Göttingen*.
Germany.
- Sudibjo, Riyan. 2007. *Dosis-dosis Radiasi*. BATAN. Jakarta.
- Wrixon.A.D.,barraclogh.I., 2004. *Radiation, People dan the Environment*, IAEA,
Austria.

Edwards, Cris. 1990. *Perlindungan radiasi bagi pasien dan dokter gigi*. Widya Medika. Jakarta.

Seeram, 2001, *x-ray*. Penerbit buku kedokteran EGC. Jakarta

Ridwan. M. 1997. *Undang-undang⁶² tentang ketenaganukliran dalam kaitannya dengan keselamatan radiasi*. PSPKR-BATAN. Jakarta.

http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Dasar_02.htm

http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/proteksiradiasi/pengenalan_radiasi/2-4.htm



LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran I : Analisis dosis kebocoran radiasi yang diterima oleh pengguna phywe x-ray unit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7) :

$$D = \dot{D} t$$

dengan :

D = dosis akumulasi yang diterima pekerja ($\mu\text{Gy}/\text{menit}$)

\dot{D} = laju dosis serap dalam medan radiasi ($\mu\text{Gy}/\text{menit}$)

t = lamanya seseorang berada di dalam medan radiasi (menit)

1. Analisis hasil pengamatan dengan sumber *Mo* adalah :

- a. Analisis hasil pengamatan pada titik 1

$$\begin{aligned} D_1 &= 0 \times 1 \\ &= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= 0 \times 1 \\ &= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit} \end{aligned}$$

- b. Analisis hasil pengamatan pada titik 2

$$\begin{aligned} D_1 &= 0 \times 60 \\ &= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit} \end{aligned}$$

- c. Analisis hasil pengamatan pada titik 3

$$\begin{aligned} D_1 &= 0 \times 1 \\ &= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit} \end{aligned}$$

$$D_2 = 261,12 \times 1$$

$$= 261,12 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

$$D_3 = 67,32 \times 1$$

$$= 67,32 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

$$D_4 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

$$D_5 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

d. Analisis hasil pengamatan pada titik 4

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

e. Analisis hasil pengamatan pada titik 5

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

f. Analisis hasil pengamatan pada titik 6

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

$$D_2 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

g. Analisis hasil pengamatan pada titik 1 dan 2

$$D_1 = 16,32 \times 1$$

$$= 16,32 \mu\text{Gy}/\text{menit}$$

- h. Analisis hasil pengamatan pada titik 6 dan 3

$$D_1 = 14,28 \times 1$$

$$= 14,28 \mu\text{Gy/ menit}$$

2. Analisis hasil pengamatan pada sumber x-ray dengan bahan *Cu*

- a. Analisis hasil pengamatan pada titik 1

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_2 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

- b. Analisis hasil pengamatan pada titik 2

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

- c. Analisis hasil pengamatan pada titik 3

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_2 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_3 = 37,74 \times 1$$

$$= 37,74 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_4 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_5 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/s}$$

- d. Analisis hasil pengamatan pada titik 4

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

- e. Analisis hasil pengamatan pada titik 5

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

- f. Analisis hasil pengamatan pada titik 6

$$D_1 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_2 = 18,36 \times 1$$

$$= 18,36 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_3 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

$$D_4 = 0 \times 1$$

$$= 0 \mu\text{Gy/ menit}$$

- g. Analisis hasil pengamatan pada titik 1 dan 6

$$D_1 = 36,72 \times 1$$

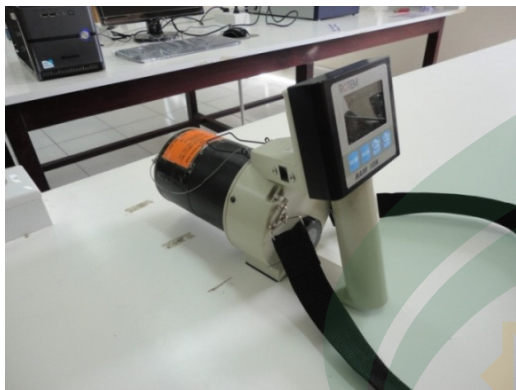
$$= 36,72 \mu\text{Gy/ menit}$$

- h. Analisis hasil pengamatan pada titik 1

$$D_1 = 276,42 \times 1$$

$$= 276,42 \mu\text{Gy/ menit}$$

Lampiran II : Dokumentasi pengambilan data.



a. Surveimeter



b. Pengukuran di titik 6



c. Pengukuran di titik 3



d. Pengukuran di titik 2



e. Pengukuran di titik 5



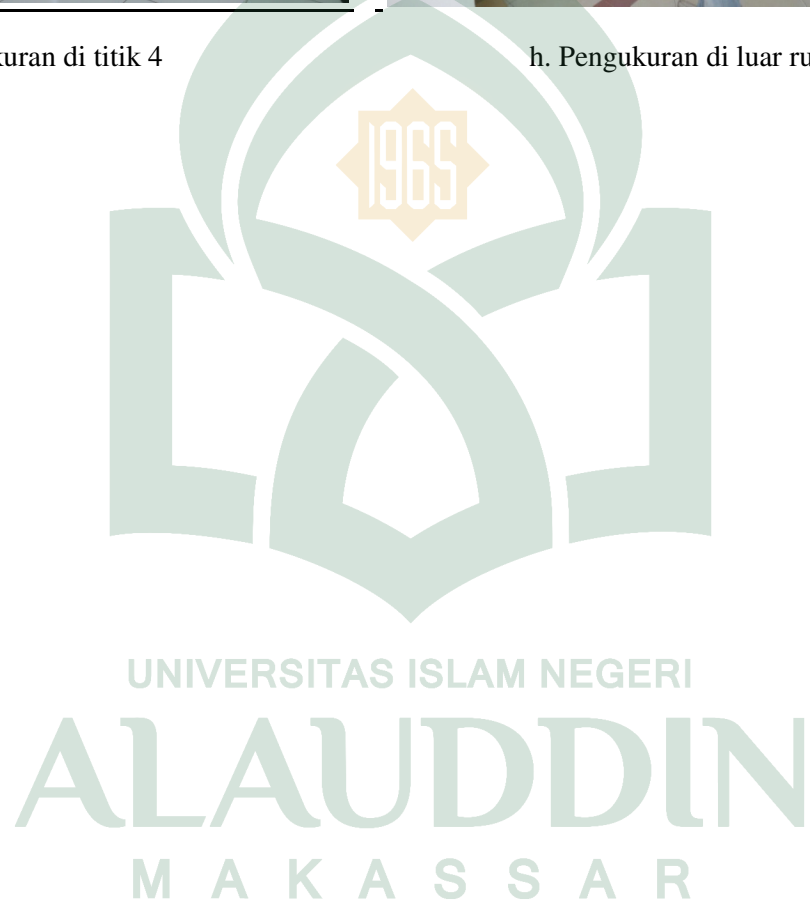
f. Pengukuran di titik 1



g. Pengukuran di titik 4



h. Pengukuran di luar ruangan

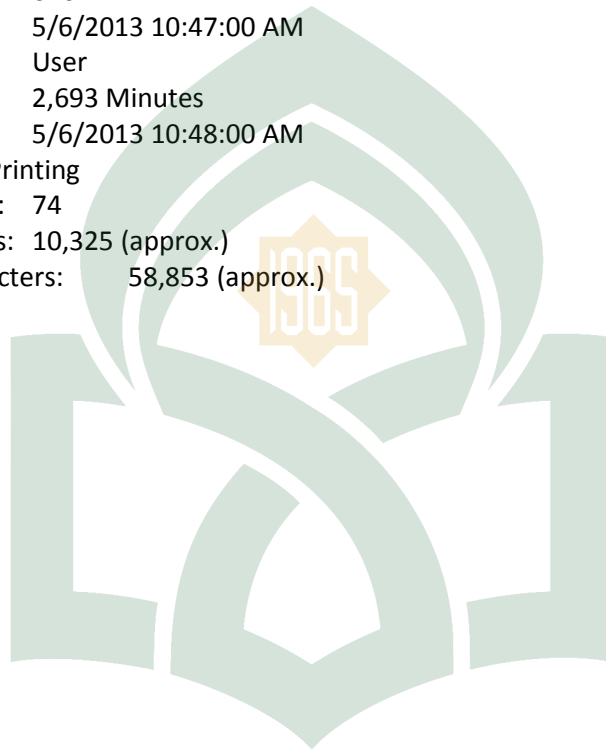


BIODATA PENULIS



Anugrah Firmansyah lahir di Tolitoli, 3 September 1989. Anak pertama dari dua bersaudara. Anak dari Fatimah Abdul Hafid dan Nurdin Kumpe. Tamat SD tahun 2001 di SDN 1 Lakatan, Tamat SMP tahun 2004 di SMP N 2 Galang, tamat SMA tahun 2007 di SMA N 1 Tolitoli. Menganggur selama satu tahun kemudian melanjutkan studi di UIN Alauddin Makassar pada jurusan Fisika Fak. Sains dan Teknologi Tahun angkatan 2008. Penulis merupakan mantan ketua umum BEM-Fak. Sains dan Teknologi periode 2012 dan mantan ketua umum HMJ-Fisika Periode 2010 serta aktif di beberapa organisasi internal dan eksternal kampus. Penulis juga merupakan pendiri Lembaga Penelitian dan Penalaran Mahasiswa (LP2M) UIN Alauddin. Selain aktif di organisasi, penulis juga berprestasi di bidang akademik, dibuktikan dengan selesainya program S1 dengan waktu 3 tahun 8 bulan, selain itu, penulis juga merupakan asisten di laboratorium Fisika Fak. Sains dan Teknologi serta menjadi pemateri di beberapa seminar lokal maupun nasional. Selama menjadi mahasiswa motto penulis adalah “sukses organisasi unggul akademik”.

Filename: PALING LENGKAP - Skripsimi
Directory: C:\Users\User\Documents
Template: C:\Users\User\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.dotm
Title:
Subject:
Author: Anix-Ang
Keywords:
Comments:
Creation Date: 8/2/2012 2:39:00 PM
Change Number: 646
Last Saved On: 5/6/2013 10:47:00 AM
Last Saved By: User
Total Editing Time: 2,693 Minutes
Last Printed On: 5/6/2013 10:48:00 AM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 74
Number of Words: 10,325 (approx.)
Number of Characters: 58,853 (approx.)



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
ALAUDDIN
M A K A S S A R